

Dissertation

# Ermittlung und Analyse des technischen Anlagenwerts von Infrastrukturanlagen am Beispiel des österreichischen Autobahn- und Schnellstraßennetzes

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grads  
Doktorin der technischen Wissenschaften  
eingereicht an der TU Wien, Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwesen

---

PhD Thesis

## Determination and analysis of the technical asset value of infrastructure assets based on the example of Austria's freeway and expressway network

submitted in satisfaction of the requirements for the degree  
Doctor of Science in Civil Engineering  
of the TU Wien, Faculty of Civil and Environmental Engineering

Dipl.-Ing. **Bettina Chylik**, BSc

Matr.Nr.: 01226588

Betreuung: Associate Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Christian Schranz**, M.Sc.  
Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Gerald Goger**  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/E235-03, 1040 Wien, Österreich

Begutachtung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. **Detlef Heck**  
Institut für Baubetrieb und Bauwirtschaft  
Technische Universität Graz  
Lessingstraße 25/II, 8010 Graz, Österreich

Begutachtung: Privatdoz. Dipl.-Ing. Dr.techn. **Patrick Huber**  
Institut für Tragkonstruktionen  
Technische Universität Wien  
Karlsplatz 13/E212-02, 1040 Wien, Österreich

Wien, im März 2023

---



# Kurzfassung

Das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz – verwaltet durch die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) – umfasst mit Stichtag 31.12.2020 rd. 2258 km Streckenlänge sowie 5984 Brücken und Tunnelanlagen. Dieses gewachsene Netzwerk benötigt zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und Verkehrssicherheit eine regelmäßige Zustandskontrolle sowie Planung erforderlicher Erhaltungsmaßnahmen. Dabei spielt insbesondere der wirtschaftliche Einsatz der verfügbaren Ressourcen zur Erreichung eines bestmöglichen Netzzustands eine immer größere Rolle. In diesem Sinne befasst sich die vorliegende Dissertation mit der Entwicklung eines gesamtheitlichen Berechnungsmodells für einen zustandsbasierten technischen Anlagenwert im Rahmen des Asset Managements. Dieser beinhaltet die Betrachtung des Straßenoberbaus sowie der Brücken und Tunnel (bauliche, elektrotechnische und maschinelle Anlagenteile).

Die methodische Vorgehensweise im Zuge dieser Forschungsarbeit gliedert sich im Wesentlichen in die fünf Schritte: Grundlagenstudie, Definition des Bewertungsrahmens, Entwicklung des Berechnungsmodells, Implementierung des Modells im bestehenden Datenmanagementsystem der ASFINAG sowie Auswertung und Interpretation der Ergebnisse. Zu Beginn erfolgt die Beschreibung der derzeitigen Zustandserfassung und der Vorgaben für die Umsetzung eines Datenmanagementsystems auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche. Zusätzlich wird die aktuelle Umsetzung der Datenspeicherung in Bezug auf das ASFINAG-Netz näher erläutert. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse fließen in weiterer Folge in das Forschungsprojekt „Technische Anlagenbewertung im Asset Management (TAniA)“ mit ein. Als Teil des Forschungsteams konnte die Autorin im ersten Schritt der Modellierung an der Vereinheitlichung der notwendigen Definitionen im deutschsprachigen Raum mitwirken. Gleichzeitig erfolgt dabei die Beschreibung des Bewertungsrahmens, zur Abgrenzung gegenüber buchhalterischen und betriebswirtschaftlichen Betrachtungen. Abgeleitet von diesen Grundlagen und den Ergebnissen einer Datenanalyse in Deutschland, Österreich und der Schweiz folgt die Festlegung von erforderlichen Eingangsgrößen und deren Mindestanforderungen. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil des Modells stellt die Auswahl des Zustandsprognosemodells anhand der verfügbaren Daten dar. Hierfür stehen drei Varianten zur Verfügung. Abschließend wird der Zusammenhang zwischen dem Zustand und dem technischen Anlagenwert qualitativ hergestellt und mathematisch ausformuliert.

Auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Datenbanken der ASFINAG erfolgt durch die Autorin die Anpassung des Modells an die bestehenden Randbedingungen. Dabei werden die notwendigen Berechnungen und Ergänzungen im Erhaltungsmanagementsystem implementiert. Der Abschluss der Dissertation beschäftigt sich mit der Zusammenführung der Ergebnisse aus den Datenbanken des Straßenoberbaus, der Brücken und Tunnel zu einer gemeinsamen Betrachtung auf Netzebene. Unterschiedliche Gegenüberstellungen zeigen die ableitbaren Erkenntnisse anhand des technischen Anlagenwerts auf verschiedenen Betrachtungsebenen sowie einen etwaigen Zusammenhang zwischen dem Investitionsbudget und der Wertentwicklung. Zusätzlich werden die Auswirkung des gewählten Zustandsprognosemodells und der Zustandserhebung auf Bauwerks- bzw. Bauteilebene auf den technischen Anlagenwert dargestellt. Diese zeigen den Mehrwert der Einführung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts für die strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen haben kann. Das entwickelte Modell bildet die Ausgangslage zur zukünftigen Ergänzung des Erhaltungsmanagements in anderen Bereichen der Verkehrsinfrastruktur, wie beispielsweise für Gemeinde- oder Landesstraßen, Schiffswege und Schienen.



# Abstract

The Austrian freeway and expressway network, which is managed by ASFINAG (German: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft), consists of approximately 2258 km of roadway and 5984 bridges and tunnels per December 31, 2020. In order to ensure the functionality and traffic safety of this network, regular condition checks and the planning of necessary maintenance measures are required. In particular, the economic use of available funds and resources to achieve the best possible network condition plays an increasingly important role. In this sense, the present research work deals with the development of a holistic calculation model for a condition-based technical asset value in the context of asset management. This includes the consideration of the road superstructure, the bridges and structural tunnel systems as well as the electrotechnical and mechanical equipment in tunnels.

The methodological approach in the process of this research work is essentially divided into the five steps: Basic study, definition of the assessment framework, development of the calculation model, implementation of the model in the existing data management system of ASFINAG, and evaluation and interpretation of the results. At the beginning of this PhD thesis, the description of the current condition assessment and the specifications for the implementation of a data management system is based on a comprehensive literature review. In addition, the current implementation of data storage in relation to the ASFINAG network is explained in more detail. The knowledge gained from this research is subsequently incorporated into the “technical asset valuation in asset management (TAniA)” research project. As part of the research team, the author was in the first step able to contribute to the standardization of the necessary definitions and the description of the valuation framework, to differentiate it from accounting and business management considerations, in the DACH countries. Using these basics and the results of a data analysis in Germany, Austria, and Switzerland, the necessary input variables and their minimum requirements are defined. Another essential part of the model is the selection of the state forecast model based on the available data, which was determined by three variants for more flexibility. Finally, the relationship between the condition and the technical plant value is qualitatively established and mathematically formulated.

Based on the available databases of the Austrian road administration, the author adapts the model to the existing boundary conditions. The necessary calculations and additions are implemented in the maintenance management system. The conclusion of the research work focuses on the consolidation of the results from the databases of the road superstructure, bridges and tunnels to a common consideration on the network level. Different comparisons show the resulting findings based on the technical asset value on different observation levels as well as a possible connection between the investment budget and the value development. In addition, the impact of the selected condition forecast model and the condition survey at the structure or component level on the technical asset value is shown. These demonstrate the added value that the introduction of a condition-based technical asset value can have on the strategic planning of maintenance activities. The model developed also forms the starting point for future additions to maintenance management in other areas of transport infrastructure, such as for municipal or state roads, shipping lanes and railways.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>9</b>
1.1	Motivation . . . . .	10
1.2	Forschungsmethodik . . . . .	10
1.3	Forschungsfragen . . . . .	13
1.4	Begriffsbestimmungen . . . . .	14
<b>2</b>	<b>Grundlagen für einen technischen Anlagenwert im Asset Management</b>	<b>25</b>
2.1	Zustandserfassung und -bewertung des Straßenoberbaus . . . . .	25
2.1.1	Ermittlung der Zustandsgrößen . . . . .	26
2.1.2	Berechnung der Zustandswerte mittels Normierung . . . . .	33
2.1.3	Teilwertermittlung – Gebrauchswert (GI) . . . . .	34
2.1.4	Teilwertermittlung – Substanzwert (SI) . . . . .	35
2.1.5	Zusammenfassung zum Gesamtwert . . . . .	37
2.2	Zustandserfassung und -bewertung von Kunstbauwerken . . . . .	38
2.2.1	Zustandserfassung . . . . .	38
2.2.2	Besonderheiten in der Zustandserfassung von Brücken . . . . .	40
2.2.3	Besonderheiten in der Zustandserfassung von baulich konstruktiven Teilen in Straßentunneln . . . . .	42
2.2.4	Zustandsbewertung . . . . .	44
2.3	Zustandserfassung und -bewertung der elektrotechnischen und maschinellen Aus- rüstung . . . . .	45
2.3.1	Zustandserfassung . . . . .	45
2.3.2	Zustandsbewertung . . . . .	45
2.4	Datenmanagementsysteme . . . . .	49
2.4.1	Straßenoberbau . . . . .	52
2.4.2	Brückenbauwerke . . . . .	53
2.4.3	Bauliche Anlagenteile im Tunnel . . . . .	53
2.4.4	Elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung im Tunnel . . . . .	54
2.5	Grundlagen der Finanzmathematik . . . . .	56
2.6	Zusammenfassung der Grundlagen für einen techn. Anlagenwert im Asset Mana- gement . . . . .	58
<b>3</b>	<b>Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts von Infrastrukturanlagen</b>	<b>61</b>
3.1	Überblick des qualitativen Zusammenhangs von Zustand und techn. Anlagenwert	61
3.2	Holistischer Bewertungsrahmen . . . . .	64
3.2.1	Anwendungsebenen und Gliederung der Straßeninfrastruktur . . . . .	66
3.2.2	Eingangsgroßen . . . . .	67
3.3	Zustandsprognosemodelle . . . . .	69
3.3.1	Varianten zur Auswahl von Lebenszyklen . . . . .	70
3.3.2	Standardisierte Lebenszyklen . . . . .	70
3.3.3	Anpassung von standardisierten Lebenszyklen . . . . .	77

3.4	Ermittlung des technischen Anlagenwert . . . . .	82
3.4.1	Berechnung des Erneuerungswerts . . . . .	84
3.4.2	Prognose des Zustandsverlauf . . . . .	85
3.4.3	Quantitativer Zusammenhang zwischen technischem Anlagenwert und Zustand . . . . .	85
3.5	Berechnung des technischen Anlagenwerts . . . . .	90
3.6	Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auf Basis des technischen Anlagenwerts . . . .	92
3.7	Zusammenfassung der Ermittlung eines zustandsbasierten techn. Anlagenwerts .	95
<b>4</b>	<b>Grundlagen des Deighton Total Infrastructure Management Systems (dTIMS)</b>	<b>97</b>
4.1	Aufbau einer Datenbank . . . . .	97
4.1.1	Tabellen . . . . .	97
4.1.2	Attribute . . . . .	99
4.1.3	Elemente . . . . .	100
4.2	Arbeiten mit Daten in Deighton Total Infrastructure Management System (dTIMS)	101
4.2.1	Database Expression . . . . .	101
4.2.2	Dataview . . . . .	101
4.2.3	Data Transformation . . . . .	102
4.2.4	Query . . . . .	102
4.3	Anwendung von Analysen . . . . .	103
4.3.1	Master-Tabellen . . . . .	104
4.3.2	Prognosemodelle und Analysevariablen . . . . .	104
4.3.3	Erhaltungsmaßnahmen . . . . .	105
4.3.4	Analysesets und Maßnahmenstrategien . . . . .	106
4.3.5	Budgetszenarien . . . . .	107
4.4	Ausgabe der Ergebnisse . . . . .	109
4.4.1	Budget-Diagramme . . . . .	109
4.4.2	Budgetvergleich . . . . .	110
4.4.3	Bauprogramm . . . . .	110
4.4.4	Überprüfen und Anpassen . . . . .	110
4.4.5	Modul für die strategische Analyse . . . . .	111
4.4.6	Kartendarstellung . . . . .	111
4.5	Zusammenfassung der Grundlagen des Management-Systems dTIMS . . . . .	111
<b>5</b>	<b>Anwendung des technischen Anlagenwerts auf das ASFINAG-Netz</b>	<b>113</b>
5.1	Analyse der Daten und Tabellen in den vorhandenen Datenmanagementsystemen	113
5.1.1	Vorhandene Eingangsgrößen im Pavement Management System (PMS) . .	114
5.1.2	Vorhandene Eingangsgrößen im Bridge Management System (BMS) . . .	116
5.1.3	Vorhandene Eingangsgrößen im Tunnel Management System (TMS) . . .	118
5.2	Ergänzungen in der Datenbank . . . . .	121
5.2.1	Einfügen zusätzlicher Attribute . . . . .	121
5.2.2	Implementierung der erforderlichen <b>Analysis Expressions</b> und <b>Analysis Variables</b> . . . . .	121
5.2.3	Ergänzung des <b>Analysis Sets</b> um die erforderlichen <b>Analysis Variables</b>	125
5.3	Zusammenführung der Ergebnisse . . . . .	125
5.4	Exkurs: Gegenüberstellung Erneuerungswert des technischen Anlagenwert zu Erneuerungskosten . . . . .	127
5.5	Zusammenfassung der Implementierung des technischen Anlagenwerts in den ASFINAG-Datenbanken . . . . .	128

<b>6</b>	<b>Analyse der Ergebnisse des techn. Anlagenwerts am Beispiel des ASFINAG-Netzes</b>	<b>129</b>
6.1	Betrachtung des technischen Anlagenwerts auf unterschiedlichen Anwendungsebenen	129
6.1.1	Ebene 5 – Netzebene . . . . .	130
6.1.2	Ebene 4 – Abschnitts- bzw. Streckenebene . . . . .	133
6.1.3	Ebene 3 – Anlagenebene . . . . .	135
6.1.4	Ebene 2 – Funktionsebene . . . . .	136
6.1.5	Ebene 1 – Bauteilebene . . . . .	139
6.2	Gegenüberstellung des techn. Anlagenwerts mit unterschiedlichen Investitionsbudgets	140
6.2.1	Analyse der Budgetvarianten des PMS . . . . .	141
6.2.2	Auswirkungen der Budgetvarianten des BMS . . . . .	143
6.2.3	Zusammenführung der Budgetanalyse des Straßenoberbaus und der Brücken	145
6.3	Vergleich von Standardlebenszyklus und Prognosemodell aus dem PMS . . . . .	147
6.4	Vergleich der Berechnungsvariante mit Gesamtnoten . . . . .	149
6.5	Zusammenfassung der Analyse des technischen Anlagenwerts am Beispiel des ASFINAG-Netzes . . . . .	153
<b>7</b>	<b>Conclusio</b>	<b>157</b>
7.1	Zusammenfassung . . . . .	157
7.2	Beantwortung der Forschungsfragen . . . . .	159
7.3	Ausblick . . . . .	165
	<b>Anhang</b>	<b>191</b>
	<b>A Standardlebenszyklen</b>	<b>191</b>
	<b>B Implementierungen in den dTIMS-Datenbanken der ASFINAG</b>	<b>197</b>

# Kapitel 1

## Einleitung

Die Notwendigkeit von Mobilität und deren Auswirkung auf die Wirtschaft und Gesellschaft wird bereits in der 2018 veröffentlichten Analyse [32] der Wirtschaftskammer Österreich (WKO) sehr deutlich hervorgehoben. Die darin beschriebene räumliche Mobilität stellt ein menschliches Grundbedürfnis dar, das aus persönlichen oder wirtschaftlichen Gründen entstehen kann. Durch die Befriedigung des Mobilitätsbedürfnisses einer Gesellschaft ist die Entstehung von Güter- und Arbeitsmärkten, der Zugang zu Bildung und die Schaffung eines Gemeinwesens möglich, wodurch die Grundvoraussetzungen für eine funktionierende Marktwirtschaft gegeben sind. Um diese räumliche Mobilität zu ermöglichen, ist unter anderem die Schaffung einer geeigneten Infrastruktur als Träger der unterschiedlichen Verkehrsmittel erforderlich. Eine Möglichkeit der Erfüllung dieses Bedürfnisses stellt das durch den Staat bereitgestellte Straßenverkehrsnetz dar.

Für die Planung, den Bau, den Betrieb, die Erhaltung und die Bemannung der österreichischen Autobahnen und Schnellstraßen gründete die Republik Österreich 1982 die Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) [3]. Die Anteile des Unternehmens liegen gemäß dem zugrundeliegenden ASFINAG-Gesetz vom 08.10.1982 (BGBl. Nr. 591/1982 idgF) ganzheitlich im Eigentum der Republik Österreich. Zudem wurde der ASFINAG mit dem ASFINAG-Ermächtigungsgesetz 1997 (BGBl. I Nr. 113/1997 idgF) und dem Fruchtgenussvertrag vom Staat das Recht zur Bemannung der in der Zuständigkeit liegenden Autobahnen und Schnellstraßen erteilt. Dies stellt die wichtigste Finanzierungsbasis für den Straßenbau und die Erhaltung der betreffenden Anlagen dar.

Gemäß dem Netzzustandsbericht 2020 der ASFINAG [37] umfasst das österreichische Bundesstraßennetz mit Stand 31.12.2020 eine Streckenlänge von rd. 2258 km. Mehr als zwei Drittel dieses Netzes wurde bereits in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts errichtet, wodurch insbesondere die Erhaltung auf diesen Abschnitten eine wesentliche Rolle spielt. Laut der Statistik des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie [7] wurden allein im Jahr 2020 ca. 527 Mio. € für die bauliche Erhaltung der Autobahnen und Schnellstraßen ausgegeben, wohingegen nur ca. 499 Mio. € in den Neu- und Ausbau investiert wurden. Zusätzlich hat sich die österreichische Bundesregierung in ihrem Regierungsprogramm 2020–2024 [6] die Förderung umweltfreundlicher Infrastruktur- und Sanierungsprojekte zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur zum Ziel gesetzt. Um eine wirtschaftliche Planung und Umsetzung der verfügbaren finanziellen Mittel für Erhaltungs- und Ausbauprojekte umsetzen zu können, bedarf es daher einer gesamtheitlichen, objektiven und nachhaltigen Betrachtung von Lebenszyklen und Erhaltungsstrategien im Rahmen des Asset Managements. Die vorliegende Dissertation zeigt eine Möglichkeit hierfür anhand der Ergänzung des bestehenden Bewertungs- und Entscheidungsprozess durch einen zustandsbasierten technischen Anlagenwert auf. Dieser umfasst neben dem Straßenoberbau auch die Betrachtung der Kunstbauten (Brücken und bauliche Tunnelkonstruktionen) sowie die elektrotechnische und maschinelle Ausstattung von Tunnelanlagen.

## 1.1 Motivation

Der größte Anteil des heute bestehenden Autobahnen- und Schnellstraßennetzes, inkl. den dazugehörigen Ingenieurbauwerken, wurde bereits zwischen den 60er und 90er Jahren des 20. Jahrhunderts errichtet. In den darauffolgenden Jahren hat sich der jährliche Zuwachs sukzessive verringert. Dieses historisch gewachsene Verkehrswegenetz bedarf daher einer umfangreichen laufenden Zustandsüberwachung und strategischen Planung notwendiger Erhaltungs- und Sanierungsmaßnahmen. Neben dem Aspekt des wirtschaftlichen Mitteleinsatzes in der Erhaltungsplanung spielt zusätzlich der nachhaltige Umgang mit Ressourcen eine immer entscheidendere Rolle. Aktuell erfolgt in den meisten Ländern das Erhaltungs- und Datenmanagement für Bestandsobjekte der Straßeninfrastruktur getrennt nach den Anlagenarten Straße, Brücke, bauliche Tunnelanlage sowie elektrotechnische und maschinell Ausrüstung im Tunnel. Eine wesentliche Voraussetzung für eine zukünftig noch effizientere Planung im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtung ist daher ein universeller Berechnungsansatz der die Zusammenführung der Einzelbetrachtungen ermöglicht.

Des Weiteren hat sich in den letzten Jahren in den deutschsprachigen Ländern der Wunsch nach einer gemeinsam genutzten und einheitlichen Festlegung von Entscheidungsparametern für ein gezieltes Benchmarking gezeigt. Diese haben einerseits das Ziel den Erfahrungsaustausch zwischen den Straßenverwaltungen der DACH-Länder zu vereinfachen und andererseits eine Vergleichbarkeit der strategischen Vorgehensweisen auf einer objektiven und nachvollziehbaren Grundlage zu schaffen. Aus diesem Anspruch abgeleitet soll ein standardisiertes Berechnungsmodell entwickelt werden, welches zusätzliche Informationen zu dem bereits vorhandenen Bewertungs- und Entscheidungsprozess liefert sowie ohne großen Aufwand integriert werden kann.

In Abgrenzung zur buchhalterischen und betriebswirtschaftlichen Betrachtung soll der entwickelte Schlüsselparameter (Key Performance Indicator (KPI)) keine rein monetäre Abbildung der Assets sein, sondern den technischen Aspekt des Asset Managements und den tatsächlichen Zustand der Objekte widerspiegeln. Um die unterschiedlichen länder- oder systemspezifischen Anforderungen und Erhaltungsziele berücksichtigen zu können, spielt die Flexibilität des Modells eine wesentliche Rolle. Sowohl die verschiedenen Varianten der Zustandsermittlung, Zustandsprognosen, Datenerfassung und Datensammlung als auch unterschiedliche Skalen bei der Zustandsbewertung müssen durch die angestrebte Lösung abgedeckt werden. Zudem soll durch Einfachheit und Transparenz die Nachvollziehbarkeit des Berechnungsmodells und somit die Akzeptanz gesteigert werden. Unter Berücksichtigung all dieser Aspekte soll mit Hilfe des zustandsbasierten technischen Anlagenwerts eine zusätzliche Entscheidungsgröße für eine nachhaltige strategische Planung von Erhaltungsmaßnahmen entwickelt und implementiert werden. Diese nutzt schlussendlich nicht nur der Straßenverwaltung, sondern könnte sogar als allgemeine Entscheidungsgrundlage für Erhaltungsziele unterschiedlicher Infrastrukturbetreiber und Interessensgruppen Anwendung finden.

## 1.2 Forschungsmethodik

Im Zuge der Auseinandersetzung mit dem Forschungsgebiet der zustandsbasierten Erhaltungsplanung im Asset Management hat sich für die Autorin die Zusammenarbeit mit anderen Fachexpertinnen und -experten<sup>1</sup> in einem Forschungsprojekt der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) ergeben. Dieses wurde im Rahmen der DACH-Kooperation Infrastrukturforschung 2018 durch die Länder Deutschland (D), Österreich (A) und die Schweiz (CH) im

<sup>1</sup>Genderhinweis: Die Autorin legt großen Wert auf Diversität und Gleichbehandlung. Im Sinne der besseren Lesbarkeit wurde jedoch oftmals entweder die maskuline oder feminine Form gewählt. Dies impliziert keinesfalls eine Benachteiligung anderer Geschlechter.

Sinne eines gemeinschaftlichen und einheitlichen Forschungsansatzes finanziert. Im Laufe der Vorbereitung und Bearbeitung des Forschungsprojekts *Technische Anlagenbewertung im Asset Management (TAniA)* hat sich für das Projekt und darüber hinaus folgender methodischer Weg zur Entwicklung und Analyse einer einheitlichen Berechnungsmethode herauskristallisiert. Diese systematische Vorgehensweise ist im Wesentlichen in folgende Schritte gegliedert:

1. Grundlagenstudie zum Status Quo der Zustandsermittlung und dem Datenmanagement
2. Definition des holistischen Bewertungsrahmens
3. Entwicklung eines gesamtheitlichen Berechnungsmodells
4. Implementierung des Modells im bestehenden Datenmanagementsystem
5. Auswertung und Interpretation der Ergebnisse

Die folgenden Unterabschnitte beschreiben diese Schritte der Forschungsmethodik im Detail.

### **Grundlagenstudie zum Status Quo der Zustandsermittlung und dem Datenmanagement**

Im ersten Schritt erfolgt eine umfangreiche Untersuchung des aktuellen Stands der Technik und Forschung in Bezug auf die Erfassung und Ermittlung von Zustandsdaten der unterschiedlichen Bauwerkstypen. Den Beginn bildet hierfür eine ausführliche Literatur- und Normenrecherche im Hinblick auf die österreichischen Regelungen und Modelle. Dabei spielen insbesondere die Vorgaben der Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen (RVS) zur Erfassung und Bewertung von Zuständen der Straßeninfrastruktur eine wichtige Rolle. Im Sinne der Standardisierung werden die aktuellen Regelungen der Zustandsbewertung hinsichtlich deren Gemeinsamkeiten und Unterschiede für die Infrastrukturanlagen Straßenoberbau, Brücke, bauliche Tunnelanlage sowie elektrotechnische und maschinell Tunnelausrüstung untersucht.

Neben der Erfassung von Anlagenzuständen sind deren Speicherung und Verfügbarkeit für die Anwendung in einem weiterführenden Berechnungsmodell von Bedeutung. Zusätzlich zur Zusammenfassung der Vorgaben durch Richtlinien erfolgt die Beurteilung des Status Quo im Bereich des Datenmanagements mittels Analyse der bereits vorhandenen Datenbanken der Straßenverwaltung in Österreich. Die hierfür erforderlichen Einblicke in die Datenmanagementsysteme wurden der Autorin und dem Forschungsteam durch die ASFINAG zur Verfügung gestellt. Im Sinne einer zukünftig länderübergreifenden Vereinheitlichung erfolgte im Zuge des Forschungsprojekts die dargestellte Untersuchung ebenso in Deutschland und der Schweiz. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden die Basis für die weitere Erarbeitung des Bewertungsrahmens und die Auswahl von möglichen Ausgangsparametern.

Abschließend werden in diesem ersten Schritt die wesentlichen finanzmathematischen Grundlagen zusammengetragen, die für den Vergleich von Erhaltungsstrategien mit Investitionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten erforderlich sind. Abhängig von der Art der Entscheidung und der Bewertung von Sicherheiten stehen verschiedene Modelle der Investitionsrechnung zur Verfügung. Die Grundlage für die Auswahl einer geeigneten Methode bilden die Ergebnisse von Literatur- und Normenrecherchen im Bereich der Lebenszykluskostenrechnung, wonach sich die Kapitalwertmethode sowohl national als auch international als bewährtes Modell herauskristallisiert hat. Zur Schaffung eines einheitlichen Verständnisses wird diese Methode am Ende von Kapitel 2 kurz erläutert.

### **Definition des holistischen Bewertungsrahmens**

Die genauen Vorgaben des Anwendungsbereichs und Abgrenzung zu anderen Fachgebieten sind für die korrekte Verwendung von Berechnungsmodellen sehr wichtig. Aus diesem Grund erfolgt im zweiten Schritt die Definition eines ganzheitlichen Bewertungsrahmens im Sinne des

zustandsbasierten technischen Anlagenwerts unter Einbeziehung der Ergebnisse aus der Grundlagenforschung. Um eine einheitliche Verwendung der benötigten Begriffe sicherzustellen, wurden zunächst Vorschläge für die wesentlichen Definitionen aufbauend auf den bereits vorhandenen Begriffsdefinitionen der einzelnen Länder erstellt. Der anschließend durch die Autorin im Zuge des Forschungsprojekts abgehaltene Workshop mit den Stakeholdern der DACH-Länder ermöglichte eine standardisierte Begriffsfindung und die Ausarbeitung eines Grundkonzepts für die Bildung eines technischen Anlagenwerts. Zusätzlich haben sich durch die geführten Diskussionen die nötigen Abgrenzungen und Anwendungsebenen näher herausgebildet. Abgeleitet aus diesen grundlegenden Vereinheitlichungen erfolgte anschließend einerseits die Zuordnungen der Bauteile zur entsprechenden Funktionsebene (Konstruktion oder Ausrüstung) und andererseits die Festlegung von erforderlichen Eingangsgrößen und deren Mindestanforderungen. Diese bilden den Ausgangspunkt für die weitere Zusammenführung der vorhandenen Daten zur Ermittlung eines technischen Anlagenwerts.

### **Entwicklung eines gesamtheitlichen Berechnungsmodells**

Den dritten Schritt der Forschungsarbeit stellt die Entwicklung eines Berechnungsmodells für den zustandsbasierten technischen Anlagenwert in Kapitel 3 dar. Dies erfolgt durch die Autorin und das Forschungsteam im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA*. Zunächst wird das methodische Vorgehen zur standardisierten Ermittlung des zustandsbasierten technischen Anlagenwerts beschrieben. Den Beginn stellt die Definition und Bestimmung des Ausgangswerts unter Rücksprache mit den Fachexpertinnen der Straßenverwaltungen dar. Diesem Schritt folgt die Zusammenstellung der anwendbaren Varianten der Zustandsprognosemodelle und deren Voraussetzungen. Einen weiteren wesentlichen Bestandteil des Berechnungsmodells bildet die Ausformulierung des Zusammenhangs von Zustandsnoten und dem technischen Anlagenwert. Als Grundlage hierfür fungiert die Auswertung der übermittelten Bestandsdaten aus den Datenbanken der DACH-Länder. Unter Zuhilfenahme von Expertengesprächen aus dem Bereich der Straßenerhaltung und des Asset Managements konnten Vorschläge für den qualitative Zusammenhang je Bauteil des Straßenerbaus, der Brücken und Tunnelanlagen entwickelt werden. Abschließend erfolgt die mathematische Ausformulierung des Berechnungsmodells für den monetären und normierten technischen Anlagenwerts sowie die Beschreibung einer möglichen Wirtschaftlichkeitsuntersuchung auf Basis der Ergebnisse.

### **Implementierung des Modells im bestehenden Datenmanagementsystem**

Schritt vier des Forschungsprojekts gliedert sich im Wesentlichen in zwei Punkte. Diese umfassen zunächst die Untersuchung der derzeit angewendeten Datenmanagementsysteme der Straßenverwaltung und das Verständnis deren Anwendung sowie Funktionsweisen. Hierfür haben sich Schulungen und der Besuch von Konferenzen des Softwareanbieters des in Österreich verwendeten Deighton Total Infrastructure Management System (dTIMS) von der kanadische Firma Deighton Associates Limited als sinnvoll erwiesen. Zusätzlich wurde unter der wissenschaftlichen Anleitung der Autorin von Rockenschaub eine detaillierte Ausarbeitung zu diesen Themen in Form einer Bachelorarbeit mit dem Titel „dTIMS – Deighton Total Infrastructure Management System“ [47] verfasst. Kapitel 4 fasst die notwendigen Bestandteile und Anwendungsmöglichkeiten für eine bessere Nachvollziehbarkeit der nachfolgenden Schritte der Implementierung zusammen.

Den zweiten Punkt bildet die Implementierung des Berechnungsmodells im bereits vorhandenen Datenmanagementsystem der ASFINAG für eine tiefgreifendere Analyse des technischen Anlagenwerts (siehe Kapitel 5). Hierfür wurden durch die Straßenverwaltung und die Firma Deighton eine Kopie der Datenbanken je Anlagentyp mit dem Datenstand von 2020 bzw. 2021 zur Verfügung gestellt. Aufbauend auf der praktischen Anwendung des entwickelten Algorithmus erfolgt die Anpassung und Ergänzung der erforderlichen Teilwerte für das österreichische Netz auf Basis einer gesamtheitlichen Untersuchung der Eingangsgrößen. Die Anwendung eines iterativen

Prozesses mit wiederkehrenden Besprechungen zwischen der Autorin und Experten des Datenmanagementsystems ermöglicht eine detailliertere Anpassung der Berechnungen. Den Abschluss stellt die Abbildung der erhaltenen technischen Anlagenwerte und Teilwerte je Anlagenart und für das Gesamtnetz der Straßenverwaltung dar.

### **Auswertung und Interpretation der Ergebnisse**

Im letzten Schritt der Forschungsarbeit erfolgt für ein tiefergreifendes Verständnis des Berechnungsmodells die Auswertung und Analyse der erhaltenen Ergebnisse hinsichtlich der daraus ableitbaren Erkenntnisse. Diese spielen für den zukünftigen Einsatz des technischen Anlagenwert als Key Performance Indicator (KPI) für die Auswahl von Erhaltungsstrategien eine wesentliche Rolle. Im ersten Teil der Untersuchungen werden die unterschiedlichen Auswertungs- und Darstellungsvarianten auf den zuvor definierten Anwendungsebenen dargestellt. Anschließend erfolgt ein Vergleich möglicher Budgetvarianten und deren Auswirkung auf den prognostizierten technischen Anlagenwert. In weiterer Folge wurde von der Autorin (im Sinne der Vergleichbarkeit zwischen den Ländern) die Auswirkung von unterschiedlichen Zustandsprognoseansätzen durch die Gegenüberstellung von Standardlebenszyklus und Zustandsprognosen abgeleitet aus den Datenmanagementsystemen untersucht. Dies ist darauf gegründet, dass bereits bei der Datenanalyse zur Erfassung der verfügbaren Eingangsparameter in den drei DACH-Ländern eine stark schwankende Datenqualität und -tiefe erkennbar ist. Der technische Anlagenwert bietet darauf abgestimmt mehrere Varianten der Ermittlung an, welche bei einem anschließenden Vergleich zwischen Ländern beachtet werden muss. Den Abschluss stellt eine Untersuchung der Ergebnisse auf Basis von Bauwerks Gesamtnoten bzw. den einzelnen Bauteilnoten dar. Die abgeleiteten Anwendungsmöglichkeiten und erzielbaren Erkenntnisse aus den durchgeführten Analysen heben den Mehrwert durch die Verwendung eines gesamtheitlichen und standardisierten technischen Anlagenwert für die Straßenerhaltung hervor.

## **1.3 Forschungsfragen**

Die Forschungsfragen dieser Arbeit dienen der Eingrenzung des Forschungsgebiets, welches sich aus der Motivation bzw. der beschriebenen Ausgangssituation ableiten lässt. Sie bilden den Leitfaden der wissenschaftlichen Bearbeitung und richten den Fokus auf das wesentliche Forschungsziel. Anhand der abschließenden Beantwortung dieser Fragen werden für die Leserinnen die im Rahmen der Arbeit gewonnenen Erkenntnisse kurz und prägnant zusammengefasst. Aus der Forschungstätigkeit resultieren die nachfolgend zusammengefassten Fragenblöcke:

1. Welche Eingangsgrößen und -parameter können für die Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwert herangezogen werden und wie ist deren Erfassung bzw. Ermittlung aktuell geregelt?
2. Wie kann die Verknüpfung zwischen den Zustandsdaten und einem monetären bzw. nicht monetären technischen Anlagenwert erfolgen? Welche Mindestanforderungen müssen die verfügbaren Eingangsgrößen erfüllen, um für das Berechnungsmodell herangezogen werden zu können?
3. Welchen Mehrwert bietet ein standardisierter Berechnungsalgorithmus für den technischen Anlagenwert hinsichtlich der Erhaltungsplanung? Welche Informationen können aus dem technischen Anlagenwert auf den unterschiedlichen Anwendungsebenen gewonnen werden?
4. Wie wirkt sich die Änderung des Investitionsbudgets auf die Prognose des technischen Anlagenwerts aus? Sind Vergleiche zwischen unterschiedlichen Maßnahmenstrategien mög-

lich? Kann ein Bezug zwischen den eingesetzten Budgetmitteln und der Veränderung des technischen Anlagenwerts im Sinne einer langfristigen Prognose hergestellt werden?

5. Welche Auswirkungen hat die Auswahl unterschiedlicher Zustandsprognosemodelle (Standardlebenszyklen oder Ableitung aus Managementsystemen) auf den technischen Anlagenwert? Ist ein Unterschied zwischen der Verwendung von Gesamtbauwerksnoten und Bauteilnoten zu erkennen?

## 1.4 Begriffsbestimmungen

Die nachfolgenden Begriffsbestimmungen dienen der Sicherstellung eines einheitlichen Wortgebrauchs betreffend Lebenszyklusbetrachtung, Asset Management und Straßeninfrastrukturerhaltung in Zusammenhang mit dieser wissenschaftlichen Arbeit. Dabei dienen vorwiegend die Richtlinien der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) *RVS 13.01.41* [68], *RVS 13.03.41* [71], *RVS 13.05.11* [77], *RVS 13.05.31* [79], die Normen ÖNORM EN 13306 [44] und DIN ISO 55000 [29], die Werke von Weninger-Vycudil et al. [92, 94] sowie die Endberichte der Forschungsprojekte *TAniA* [90] und *Entwicklung eines integrativen Ansatzes zur Messung und Bewertung von Eisenbahn- und Straßentunnel (AMBITION)* [81] als Grundlage.

**Abschreibung:** Die Abschreibung entspricht laut Definition der *RVS 13.05.31* [79, S. 2] der im Rechnungswesen verwendeten „*Erfassung und Verrechnung von Wertminderungen, die bei Vermögensgegenständen des Anlagevermögens, deren Nutzung zeitlich begrenzt ist, eintreten*“.

**Asset Management:** Der Begriff des Asset Management wird in der DIN ISO 55000 [29, S. 37] definiert als „*koordinierte Aktivitäten einer Organisation, um mit Hilfe von Assets Werte zu schaffen*“. Dabei stellen Assets Objekte, Sachen oder Einheiten dar, die einen materiellen, immateriellen, finanziellen oder nicht-finanziellen Wert besitzen.

**Ausrüstungsindikator (AI):** Aus den geltenden Normen und Richtlinien für den deutschsprachigen Raum geht keine Definition des Ausrüstungsindikators hervor. Dieser Begriff wurde im Rahmen des Forschungsprojekts *TAniA* vom Forschungsteam für die Berechnung des Technischen Anlagenwerts festgelegt und im Projektendbericht [90, S. 37] definiert als „*Indikator zur Beschreibung des Anlagevermögens für die konstruktiv-funktionalen Teile einer Straßeninfrastrukturanlage, die innerhalb des Lebenszyklus des Gesamtbauwerks ein- oder mehrmals ersetzt/erneuert werden*“.

**Erhaltung:** Gemäß den Ausführungen im Forschungsprojekt *AMBITION – Entwicklung eines integrativen Ansatzes zur Messung und Bewertung von Eisenbahn- und Straßentunnel* [81, S. 8 f.] sowie dem *Handbuch Pavement Management* [94] umfasst die Erhaltung alle Maßnahmen, um die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit an einem Bauwerk oder Bauwerksteil sowie die Funktionsfähigkeit von Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen zu sichern. Die Erhaltungsmaßnahmen umfassen Instandhaltungen, Instandsetzungen und Erneuerungen.

**Erneuerung:** Die Erneuerung bzw. Erneuerungsmaßnahmen beschreiben im Sinne des Forschungsprojekts *TAniA* [90, S. 37] in Anlehnung an die Definitionen der *RVS 13.01.41* [68, S. 2] und *RVS 13.05.11* [77, S. 2] umfangreiche Maßnahmen, wie beispielsweise den Ersatz oder Austausch wesentlicher Bauwerksteile, durch die ein neuwertiger Zustand auf Basis des aktuellen Stands der Technik erreicht wird.

**Erneuerungswert:** Entsprechend dem Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90, S. 35] entspricht der Erneuerungswert zur Berechnung des Technischen Anlagenwert „*dem theoretischen monetären Wert, der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgewendet werden muss, um eine Anlage nach dem aktuellen Stand der Technik (technischen Anforderungen), jedoch ohne Berücksichtigung von erhöhten aktuellen funktionalen Anforderungen zu errichten*“. Dabei wird berücksichtigt, dass bereits bestehende konstruktive Bauteile nach Möglichkeit weiter verwendet werden können, wie beispielsweise die bereits ausgebrochene Tunnelröhre oder Pfeilerfundamente.

**Instandhaltung:** Unter dem Begriff der Instandhaltung wird gemäß *ÖNORM EN 13306* [44, S. 8] die „*Kombination aller technischen und administrativen Maßnahmen sowie Maßnahmen des Managements während des Lebenszyklus eines Objekts, die dem Erhalt oder der Wiederherstellung seines funktionsfähigen Zustands dient, sodass es die geforderte Funktion erfüllen kann*“ verstanden.

**Instandsetzung:** Gemäß den Ausführungen der *ÖNORM EN 13306* [44, S. 8] und der *RVS 13.03.41* [71, S. 2] stellt eine Instandsetzung eine physikalische Maßnahme zur Behebung von Schäden und Funktionsmängeln dar, die das Ziel verfolgt, die fehlerfreie Funktion einer Anlage wiederherzustellen.

**Key Performance Indicator (KPI):** Der englische Begriff *key performance indicator* bezeichnet gemäß dem Gabler Wirtschaftslexikon [80] eine Kennzahl der Betriebswirtschaftslehre zur Kontrolle bzw. Bewertung von Erfolg, Leistung oder Auslastung eines Betriebs oder organisatorischen Einheit.

**Konstruktionsindikator (KI):** Der Endbericht zum Forschungsprojekt *TAniA* [90, S. 37] definiert den Konstruktionsindikator zur Berechnung des Technischen Anlagenwert wie folgt:

*„Der Konstruktionsindikator ist ein Indikator zur Beschreibung des Anlagevermögens für die konstruktiv-baulichen Teile einer Straßeninfrastrukturanlage, die innerhalb des technischen Lebenszyklus des Gesamtbauwerks nicht zur Gänze ersetzt werden, jedoch im Rahmen von intensiven Erhaltungsmaßnahmen ertüchtigt oder (teil)erneuert werden können.“*

**Neubeschaffungswert:** Der Neubeschaffungswert wurde im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* [90, S. 35] unter Berücksichtigung des technischen Anlagenwert als theoretischer monetärer Wert festgelegt, „*der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgewendet werden muss, um eine Anlage nach dem aktuellen Stand der Technik (technischen Anforderungen) und nach den aktuellen funktionalen Anforderungen (z. B. Leistungsfähigkeit) wieder neu zu errichten*“.

**Substanzwert:** Der Substanzwert beschreibt laut Honeger et al. [37, S. 33] und Weninger-Vycudil et al. [92, S. 68] die technisch-strukturelle Beschaffenheit des Straßenoberbaus und dient der Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen sowie der Zuordnung zu Maßnahmenklassen. Er wird aus den Teilwerten für die Tragfähigkeit und Zustandseigenschaften gebildet.

**Technischer Anlagenwert:** Im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* definiert das Forschungsteam im Endbericht [90, S. 36] den technischen Anlagenwert wie folgt:

*„Der technische Anlagenwert ist der auf Basis des aktuellen Anlagenzustands ermittelte Wert – dieser ergibt sich aus dem Erneuerungswert abgemindert um den Wertverlust infolge Abnutzung, Alterung oder Funktionsbeschränkung.“*

**Technischer Lebenszyklus (Lebensdauer):** Im Sinne des technischen Anlagenwerts umfasst der technische Lebenszyklus (Lebensdauer) laut Endbericht [90, S. 36] den Zeitraum von der Errichtung bzw. Neukonstruktion bis zum Abbruch oder der Außerdienststellung einer Anlage.

**Technische Nutzungsdauer:** Die technische Nutzungsdauer beschreibt laut Definition der FSV-Richtlinie *RVS 13.05.31* [79, S. 2] jenen „Zeitraum, in dem ein abnutzbarer Vermögensgegenstand technisch in der Lage ist, seine Funktion bzw. seinen Verwendungszweck zu erfüllen“.

**Wiederbeschaffungswert:** Der Wiederbeschaffungswert beschreibt gemäß den Ausführungen im Endbericht [90, S. 36], in Anlehnung an die Definition der *RVS 13.05.31* (inkl. Abänderung 2021)[79, S. 4], jenen „*theoretischen monetären Wert, der aufgewendet werden muss, um eine Anlage nach dem ursprünglichen Stand der Technik (Stand der Normen und Richtlinien zum Zeitpunkt der Errichtung) und nach ursprünglicher Funktionalität wieder zu errichten.*“

**Zustandsgröße:** Mit Hilfe von Zustandsgrößen ist es laut Weninger-Vycudil et al. [92, S. 24] möglich, den Zustand für ein bestimmtes Zustandsmerkmal repräsentativ zu bestimmen. Sie stellen entweder physikalische Werte [m, m<sup>2</sup>, m/km etc.] oder aus Mess-/Erfassungsgrößen gebildete Flächen- bzw. Längenbezugswerte [%] dar.

**Zustandswert:** Der dimensionslose Zustandswert eines Zustandsmerkmals errechnet sich durch Normierungsfunktionen der zugehörigen Zustandsgröße, welche die Bewertung des Schadens in Relation zur Auswirkung auf den Straßennutzer bzw. -erhalter beschreibt. Sie dienen gemäß Weninger-Vycudil et al. [92, S. 62] und *RVS 13.01.13* [63] zur Einteilung in Zustandsklassen auf Basis des Schulnotensystems (1–5).

# Abkürzungen

**ABBV** Ablösebeträge-Berechnungsverordnung

**AI** Ausrüstungsindikator

**AMBITION** Entwicklung eines integrativen Ansatzes zur Messung und Bewertung von Eisenbahn- und Straßentunnel (Name eines Forschungsprojekts)

**ASFINAG** Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

**BIM** Building Information Modeling

**BMK** Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (Österreich)

**BMS** Bridge Management System

**BPR** Bauprogramm

**DAUB** Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V.

**dTIMS** Deighton Total Infrastructure Management System (Software)

**ELISA<sup>ASFINAG</sup>** Erhaltungsziel integraler Substanzwert im Anlagenmanagement der ASFINAG (Name eines Forschungsprojekts)

**FFG** Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

**FSV** Österreichische Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr

**GIS** Geoinformationssystem

**IBC** Incremental Cost Benefit (Optimierungsansatz in dTIMS)

**IMT** Infrastructure Managment Tool

**IRI** International Roughness Index

**KI** Konstruktionsindikator

**KPI** Key Perfomance Indicator

**LCA** Life-Cycle-Analysis

**OPTimAL** Optimierte Instandsetzungsplanung der tunnelspezifischen baulichen und elektromechinellen Ausrüstung mittels LCA (Name eines Forschungsprojekts)

**PIARC** Permanent International Association of Road Congresses (World Road Association)

**PMS** Pavement Management System

**RVS** Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen

**SAM** Strategic Analysis Module

**SCD** Smallest Common Denominator

**SLZ** Standardlebenszyklus

**SQL** Structured Query Language

**SRM** modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser

**TAniA** Technische Anlagenbewertung im Asset Management (Name eines Forschungsprojekts)

**TMS** Tunnel Management System

**VRV 2015** Voranschlags- und Rechnungsabschlussverordnung 2015

**WKO** Wirtschaftskammer Österreich

# Symbolverzeichnis

$z$  Zinssatz [%]

$\mu_{\text{SRM}}$  Reibungsbeiwert [dimensionslos]

$\overline{MG}_{\text{SR,links}}$  Mittelwert der Messgröße Spurrinnen linke Radspur [mm]

$\overline{MG}_{\text{SR,rechts}}$  Mittelwert der Messgröße Spurrinnen rechte Radspur [mm]

$\pi$  Inflationsrate [%]

$A_{\text{B}}$  Bezugsfläche [m<sup>2</sup>]

$AI_t$  Ausrüstungsindikator zum Zeitpunkt  $t$  [dimensionslos]

$ALT_i$  Altersnote des Gewerks  $i$  [dimensionslos]

$Alt_{\text{Decke}}$  Alter der Deckschicht [Jahr]

$AM_{\text{OS},i}$  Schadensausmaß des Merkmals  $i$  [m<sup>2</sup>]

$AM_{\text{AR},i}$  Schadensausmaß (Flächenwert) des Merkmals  $i$  [m<sup>2</sup>]

$AM_{\text{L},i}$  Schadensausmaß (Längenwert) des Merkmals  $i$  [m]

$AntAI_{t,t_A}$  Anteil der Erneuerungswerte für die Anlagenteile der Ausrüstung  $AT_{\text{AI}}$  am Gesamterneuerungswert der Anlage

$AntEW_{k,t}$  Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert für den Anlagenteil  $k$  zum Zeitpunkt  $t$

$AntKI_{t,t_A}$  Anteil der Erneuerungswerte für die Anlagenteile der Konstruktion  $AT_{\text{KI}}$  am Gesamterneuerungswert der Anlage

$AT_{\text{AI}}$  Anlagenteile des Ausrüstungsindikators

$AT_{\text{KI}}$  Anlagenteile des Konstruktionsindikators

$D_{\text{A,MA}}$  Dauer bis zur nächsten Erhaltungsmaßnahme der Ausrüstung auf Grund des Zustands der Ausrüstung [Jahre]

$D_{\text{A,MK}}$  Dauer bis zur nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme auf Grund des Zustands der Ausrüstung [Jahre]

$D_{\text{Beton}}$  Gesamtdicke Betondecke [cm]

$D_{\text{Deck}}$  Dicke der Deckschicht [cm]

$D_{\text{GebSch}}$  Dicke der gebundenen Schichten [cm]

$D_{K,MK}$  Dauer bis zur nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme auf Grund des Zustands der Konstruktion [Jahre]

$d_i$  Normierungsparameter der Merkmals  $i$

$ES_x$  Erhaltungsstrategie  $x$  für eine Anlage oder unterschiedliche Anlagen des gleichen Typs

$EV_i$  Ersatzteilverfügbarkeit des Gewerks  $i$  [dimensionslos]

$EW_{i,t,t_A}$  Erneuerungswert des Anlagenteils  $i$  bzw.  $j$  zum Zeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$EW_{k,t,t_A}$  Erneuerungswert des Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$EW_{k,t_A}$  Erneuerungswert eines Anlagenteils  $k$  zum Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$EW_{k,t}$  Erneuerungswert eines Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  [€]

$EW_{t,t_A}$  Erneuerungswert eines Bauwerks zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$f_{As}$  Faktor Alter für Asphaltdecken gemäß Tab.2.9 auf Seite 37

$G_{OS,i}$  Gewicht Schadensschwere des Merkmals  $i$

$G_{RI,i}$  Gewicht Schadensschwere des Merkmals  $i$

$GI_{Komfort}$  Gebrauchsteilwert Komfort [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI_{Komfort} \leq 5,0]$

$GI_{Sicherheit}$  Gebrauchsteilwert Sicherheit [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI_{Sicherheit} \leq 5,0]$

$GI$  Gebrauchswert (gesamt) [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI < 5,0]$

$GW_i$  Gesamtwert des Gewerks  $i$  [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GW \leq 5,0]$

$GW$  Gesamtwert [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GW \leq 5,0]$

$IF_{ES_x}$  Indexfläche der Erhaltungsstrategie  $ES_x$  unter dem Verlauf des normierten technischen Analgenwerts [dimensionslos]

$IRI$  International Roughness Index [mm/m oder m/km]

$J_{akt}$  aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]

$J_{rechn,As}$  rechnerisches Oberbaujahr für Asphaltdecke [Jahr]

$J_{rechn,Be}$  rechnerisches Oberbaujahr für Betondecke [Jahr]

$J_{rechn}$  rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]

$K^{\text{bar}}$  Barwert (Anfangswert) des Kapitals [€]

$K^{\text{end}}$  Endwert des Kapitals [€]

$K_{\text{BemPer}}$  Kalibrierfaktor Bemessungsperiode [dimensionslos]  
mit  $K_{\text{BemPer}} = 1,5$  für Autobahnen und Schnellstraßen in Asphaltbauweise und  $K_{\text{BemPer}} = 1,0$  für Betonbauweise und sonstige Asphaltstraßen

- $K_{\text{Risse}}$  Kalibrierfaktor Risse [dimensionslos] lt. Weninger-Vycudil et al. [92, S. 83]  
mit  $[0,005 \leq K_{\text{Risse}} \leq 0,7]$
- $K_{\text{Tragf}}$  Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit [dimensionslos] mit  $[0,3 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 1,0]$
- $k_i$  Normierungsparameter der Merkmals  $i$
- $K_j$  jährlicher Kapitalzuwachs [€]
- $KI_t$  Konstruktionsindikator zum Zeitpunkt  $t$  [dimensionslos]
- $ND$  Nutzungsdauer [Jahr]
- $NLW_{\text{kum},n}$  kumulierte Normlastwechsel zum Zeitpunkt  $n$  innerhalb der Bemessungsperiode in Mio. [dimensionslos]
- $NLW_{\text{zul},0}$  zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [dimensionslos]
- $p$  mittlere jährliche Indexanpassung [%]
- $q$  Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]
- $S_i J$  Herstellungsjahr Schicht  $i$  [Jahr]
- $S_i K$  Schichtkoeffizient Schicht  $i$  [dimensionslos]
- $S_i TS_{\text{As}}$  Schichtzahl [dimensionslos] für Asphaltdecken:  $S_i TS = 1$  für gebundene Schicht mit  $S_{i-1} TS > 0$ ;  $S_i TS = 0$  für sonstige Schichten und alten Asphaltdecken mit  $S_i J \leq S_{i-1} J + 20$  und  $i \geq 4$
- $S_i TS_{\text{Be}}$  Schichtzahl [dimensionslos] für Betondecken:  $S_i TS = 1$  für Betondecke mit  $S_{i-1} TS > 0$  ausgenommen  $S_{i-1} = \text{bituminöser Überzug}$ ;  $S_i TS = 0$  für sonstige Schichten
- $S_{1,\text{Be}} J$  Herstellungsjahr der obersten Betondecke [Jahr]
- $S_i D$  Dicke Schicht  $i$  [cm]
- $SI_{\text{Deck,As}}$  Substanzteilwert Decke [dimensionslos] für Oberbaukonstruktion aus Asphalt
- $SI_{\text{Deck,Be}}$  Substanzteilwert Decke [dimensionslos] für Oberbaukonstruktion aus Beton
- $SI_{\text{Deck}}$  Substanzteilwert Decke [dimensionslos]
- $SI_{\text{Tragf}}$  Substanzteilwert theoretische Tragfähigkeit [dimensionslos]
- $SI$  Substanzwert (gesamt) [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq SI \leq 5,0]$
- $SV_{\text{A},n,m,\text{stand}}$  Streuung des Standardausrüstungs-(Erhaltungs)intervalls  $m$  [Jahre]
- $SV_{\text{K},n,\text{stand}}$  Streuung des Standardkonstruktions-(Erhaltungs)intervalls  $n$  [Jahre]
- $t_A$  Bezugszeitpunkt (= Anfang des Betrachtungszeitraums) [Jahr]
- $t_{\text{A,Z}=1}$  Zeitpunkt des letzten idealen Zustands des maßgebenden Ausrüstungsteils (=Zeitpunkt der Errichtung oder der letzten Erhaltungsmaßnahme der Ausrüstung) [Jahr]
- $t_{\text{A,Z}=krit}$  Zeitpunkt des kritischen Zustands des maßgebenden Ausrüstungsteils [Jahr]

- $t_{\text{akt}}$  Zeitpunkt des aktuellen Alters der Anlage [Jahr]
- $t_{\text{Betr}}$  Betrachtungszeitpunkt für Investitionsentscheidung
- $t_{K,Z=1}$  Zeitpunkt des letzten idealen Zustands des maßgebenden konstruktiven Anlagenteils (=Zeitpunkt der Errichtung oder der letzten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme) [Jahr]
- $t_{K,Z=\text{krit}}$  Zeitpunkt des kritischen Zustands des maßgebenden konstruktiven Anlagenteils [Jahr]
- $t_{\text{MA}}$  Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme an der Ausrüstung – ausgelöst durch den Zustand der Konstruktion oder Ausrüstung [Jahr]
- $t_{\text{MK}}$  Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme an der Konstruktion bzw. das Ende des Lebenszyklus [Jahr]
- $t_{Z,A}$  Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Ausrüstung  $Z_{A,\text{akt}}$  [Jahr]
- $t_{Z,K}$  Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Konstruktion  $Z_{K,\text{akt}}$  [Jahr]
- $TAW_{i,t}$  Technischer Anlagenwert des Anlagenteils  $i$  bzw.  $j$  zum Zeitpunkt  $t$  [€]
- $TAW_{k,t}$  Technischer Anlagenwert eines Anlagenteils  $k$  als Funktion der Zeit  $t$  [€]
- $TAW_{t,n}$  normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks als Funktion der Zeit  $t$  [dimensionslos]
- $TAW_{t_i,n,\text{nach}}$  normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks nach der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  [dimensionslos]
- $TAW_{t_i,n,\text{vor}}$  normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks vor der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  [dimensionslos]
- $TAW_t$  Technischer Anlagenwert eines oder mehrerer Bauwerke als Funktion der Zeit  $t$  [€]
- $TAZ_i$  Technischer Anlagenzustand des Gewerks  $i$  [dimensionslos]
- $TZ_0$  Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs (= Zeitpunkt 0) [dimensionslos]
- $t$  Betrachtungszeitpunkt [Jahr]
- $UG$  Untergrundtragfähigkeit (Standardwert = 2,4) [dimensionslos]
- $V_{A,n,m,\text{stand}}$  Länge des Standardkonstruktions-(Erhaltungs)intervalls  $m$  innerhalb des  $n$ -ten Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls [Jahre]
- $V_{A,n,m}$  Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervall  $m$  im  $n$ -ten Konstruktions-(Erhaltungs)intervall [Jahre]
- $V_{K,n,\text{stand}}$  Länge des Standardkonstruktionsintervalls  $n$  innerhalb des Lebenszyklus [Jahre]
- $V_{K,n}$  Konstruktions-(Erhaltungs)intervall  $n$  [Jahre]
- $VBI$  Verkehrsbelastungskoeffizient [dimensionslos]
- $W_{\text{GI}}$  Gewichtungsfaktor Gebrauchswert [dimensionslos]
- $W_{\text{SI}}$  Gewichtungsfaktor Substanzwert [dimensionslos]

- $WI_{ES_x}$  Gesamtwirkungsindex der Erhaltungsstrategie Erhaltungsstrategie  $x$  [dimensionslos]
- $WI_{t_i}$  Wirkungsindex der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  [dimensionslos]
- $Z_{A,akt}$  aktueller Zustand der Ausrüstung [dimensionslos]
- $Z_{A,best}$  bester Zustand des maßgebenden Ausrüstungsteils (Zustandsnote = 1) [dimensionslos]
- $Z_{A,krit}$  kritischer Zustand des maßgebenden Ausrüstungsteils [dimensionslos]
- $Z_{K,akt}$  aktueller Zustand der Konstruktion [dimensionslos]
- $Z_{K,best}$  bester Zustand des maßgebenden Konstruktionsteils (Zustandsnote = 1) [dimensionslos]
- $Z_{K,krit}$  kritischer Zustand des maßgebenden Konstruktionsteils [dimensionslos]
- $ZG_{LE}$  Zustandsgröße Längsebenheit [m/km]
- $ZG_{OS,Asphalt}$  Zustandsgröße Oberflächenschäden in Asphaltdecken [%]
- $ZG_{OS,Beton}$  Zustandsgröße Oberflächenschäden in Betondecken [%]
- $ZG_{OS}$  Zustandsgröße Oberflächenschäden [%]
- $ZG_{RI,Asphalt}$  Zustandsgröße Risse in Asphaltdecken [%]
- $ZG_{RI,Beton}$  Zustandsgröße Risse in Betondecken [%]
- $ZG_{SR}$  Zustandsgröße Spurrinnen [mm] für 50-m-Abschnitt
- $ZG_{Tragf}$  Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]
- $ZG_i$  Zustandsgröße des Merkmals  $i$
- $ZW_{Alter,As}$  Zustandswert Alter für Asphaltdecken [dimensionslos]
- $ZW_{GR}$  Zustandswert Griffigkeit [dimensionslos]
- $ZW_{LE}$  Zustandswert Längsebenheit [dimensionslos]
- $ZW_{OS}$  Zustandswert Oberflächenschäden [dimensionslos]
- $ZW_{RI}$  Zustandswert Risse [dimensionslos]
- $ZW_{SR}$  Zustandswert Spurrinnen [dimensionslos]
- $ZW_{i,max}$  Obere Grenze für den Zustandswert der Merkmals  $i$  [dimensionslos]
- $ZW_{i,min}$  Untere Grenze für den Zustandswert der Merkmals  $i$  [dimensionslos]
- $ZW_i$  Zustandswert des Merkmals  $i$  [dimensionslos]



## Kapitel 2

# Grundlagen für die Berechnung eines technischen Anlagenwerts im Asset Management

In Österreich wird das höherrangige Straßennetz von der ASFINAG betreut und umfasst ein weitläufiges Verkehrswegenetz inkl. Gebäuden, Ingenieurbauwerken, Einbauten und Ausrüstungen. Für den technischen Anlagenwert sollen, im Sinne des Forschungsprojekts „Technische Anlagenbewertung im Asset Management (TAniA)“, die Anlagenbestandteile Oberbau, Brücken, Tunnel baulich sowie elektrotechnische und maschinelle Tunnelausrüstungen berücksichtigt werden. Das Wissen über deren aktuellen Zustand und der zu erwartenden Entwicklung ist ein wesentlicher Bestandteil des Asset Managements und spielt demnach eine entscheidende Rolle für die Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts. Die Regelungen zur Erfassung und Art der Datenspeicherung in Österreich sind in den entsprechenden RVS festgelegt, welche von der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr (FSV) herausgegeben werden. Dieses Kapitel gibt einen kurzen Überblick über den aktuellen Stand der Technik anhand der geltenden Richtlinien zur Zustandserfassung und dem dazugehörigen Datenmanagement im Asset Management des Infrastrukturbaus. Dabei gibt es wesentliche Unterschiede in der Erfassung und Bewertung des Straßenoberbaus gegenüber Kunstbauwerken (Brücken und Tunnel) sowie der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung von Tunnelanlagen zu berücksichtigen.

Weiter befasst sich dieses Kapitel mit den Grundlagen der Finanzmathematik mit dem Ziel ein allgemeines Grundverständnis für die Investitionsrechnung zu bilden. Dies ist notwendig um eine Vergleichbarkeit von Erhaltungsstrategien im Sinne von Lebenszyklusbetrachtungen zu ermöglichen. Die, zu unterschiedlichen Zeitpunkten, getätigte Investitionen müssen hierfür mittels eines finanzmathematischen Verfahrensmodelles auf einen Betrachtungszeitpunkt bezogen werden. Auf Basis der nationalen und internationalen Richtlinien hat sich bereits ein Modell als zielführend erwiesen. Am Ende dieses Kapitel wird daher kurz auf das Grundwesen dieses Verfahrens – die Kapitalwertmethode – eingegangen.

### 2.1 Zustandserfassung und -bewertung des Straßenoberbaus

Die Erfassung und Bewertung des Straßenoberbaus von Asphalt- und Betonstraßen ist in Österreich einerseits durch die FSV-Richtlinien *RVS 13.01.15 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Pavement Management – Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR* [65] und *RVS 13.01.16 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Pavement Management – Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken* [67] und andererseits durch das *Handbuch Pavement Management in Österreich 2009* [94] und *Handbuch Pavement Management in Österreich (Ausgabe 2016)* [92] beschrieben. Dieses Kapitel verwendet diese Werke als Grundlage.

Die Vorgaben der Richtlinien verfolgen das Ziel, ein möglichst hohes Maß an Qualität des Straßenoberbaus zur Aufrechterhaltung der Fahrsicherheit, des Fahrkomforts und der Substanz zu gewährleisten sowie gleichzeitig negative Umwelteinflüsse und Verkehrsbeeinträchtigungen

zu minimieren. Zur Überprüfung dieser Erhaltungsziele ist zunächst die Einführung eines Bewertungsverfahrens auf Grundlage erfassbarer Zustandsgrößen des Straßenoberbaus mit einer anschließenden Kategorisierung erforderlich. Im Zuge der praktischen Anwendung wurden für eine bessere Nachvollziehbarkeit der Erfüllung der Qualitätsziele zusätzlich zwei Teilwerte eingeführt – der *Gebrauchswert* beschreibt Fahrsicherheit und -komfort und der *Substanzwert* die strukturelle Beschaffenheit des Oberbaus. Das in Österreich angewendete Verfahren für Autobahnen und Schnellstraßen beinhaltet gemäß [94] folgende Schritte:

1. Ermittlung der benötigten Zustandsgrößen für die einzelnen Zustandsmerkmale,
2. Berechnung des Zustandswerts mittels Normierungsfunktionen,
3. Teilwertermittlung – Gebrauchswert und Substanzwert sowie
4. Zusammenfassung zum Gesamtwert.

Das beschriebene Verfahren findet grundsätzlich für jeden untersuchten Straßenabschnitt Anwendung. In Österreich haben sich für die Zustandsbewertung des Straßenoberbaus standardmäßig Abschnitte mit 50 m Länge durchgesetzt. Falls erforderlich, können jedoch auch kürzere Abschnittslängen gewählt werden. Zusätzlich ist zu beachten, dass sich die einzelnen Schritte des Ermittlungsverfahrens abhängig von der Art des Oberbaus (Asphalt oder Beton) in geringem Maß unterscheiden können. Dies liegt an den materialspezifischen Eigenschaften der verwendeten Größen.

### 2.1.1 Ermittlung der Zustandsgrößen

Die Basis der Zustandsbewertung bilden laut Weninger-Vycudil et al. [94] die Mess- oder Erfassungsgrößen. Erfassungsgrößen sind über das Schadensausmaß und die Schadensschwere definiert. In Ausnahmefällen kann jedoch eine Beurteilung ausschließlich anhand der Schadensschwere zweckdienlich sein. Das Schadensausmaß gibt dabei Auskunft über den Umfang des erkannten Schadens und kann je nach Art des Merkmals beispielsweise als Fläche, Länge oder Anzahl angegeben werden. Die Schadensschwere repräsentiert die Intensität des angetroffenen Schadens (z. B. Rissbreite, Tiefe der Abplattung, Spurrinntiefe etc.). Anhand der erfassten Mess- und Erfassungsgrößen errechnen sich die Zustandsgrößen eines Zustandsmerkmals, welche physikalische Werte ( $\text{m}^2$ ,  $\text{m}/\text{km}$  etc.) oder Bezugswerte (% der Fläche oder Länge) für einen bestimmten Abschnitt darstellen.

Mit Hilfe der heutigen technischen Möglichkeiten kann eine Vielzahl an Zustandsmerkmalen mittels Mess- und Erfassungsgrößen ermittelt werden. In Anbetracht der zuvor beschriebenen Erhaltungsziele haben sich für die praktische Anwendung im Pavement Management die folgenden Zustandsmerkmale als zielführend erwiesen:

- Spurrinnen (Ebenheit in Querrichtung),
- Längsebenheit,
- Griffbarkeit,
- Oberflächenschäden sowie
- Risse.

Die Erfassung der erforderlichen Mess- bzw. Erfassungsgrößen erfolgt in Österreich hauptsächlich mittels dem mobilen Messsystem RoadSTAR [65] oder über visuelle Zustandserfassungen (Aufnahme und Begutachtung vor Ort oder über Bild- bzw. Videomaterial). In den damit verbundenen RVS-Richtlinien der Serien *RVS 11.06.60 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche* [50–61] und *RVS 13.01.10 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauliche Straßenerhaltung – Pavement Management* [62, 63, 65, 67]<sup>2</sup> finden sich detaillierte Vorgaben zu Messverfahren und Zustandsgrößen sowie zusätzlich mögliche Messgrößen, welche derzeit nicht für die Zustandsbewertung zur Anwendung kommen.

Zusätzlich zu den Zustandsgrößen auf Basis von Mess- und Erfassungsgrößen kann die Zustandsgröße der theoretischen Tragfähigkeit auf Basis von Oberbaudaten und der Verkehrsbelastung ermittelt werden. Dieser Wert dient der Beschreibung der strukturellen Ermüdung des Oberbaus bezogen auf eine ideale Entwicklung der Konstruktion. Die anschließenden Beschreibungen zur Ermittlung der Zustandsgrößen behandeln ausschließlich die Zustandsmerkmale zur Beschreibung der Erhaltungsziele.

### Spurrinnen (Ebenheit in Querrichtung)

Die maßgebende Messgröße für das Zustandsmerkmal Spurrinnen bildet die maximale Spurrinentiefe unterhalb der 2-m-Latte. Die Messung der Tiefe erfolgt gemäß RVS 11.06.67 [56] für die Spurrinnen der linken und rechten Radspur je Fahrstreifen. Die Ermittlung der Zustandsgröße ( $ZG_{SR}$  [mm]) basiert dabei auf dem Mittelwert der Spurrinentiefen je 50-m-Erfassungsabschnitt. Maßgebend ist dabei der Maximalwert aus dem Mittelwert der Messungen links ( $\overline{MG}_{SR,links}$  [mm]) und rechts ( $\overline{MG}_{SR,rechts}$  [mm]) [92]:

$$ZG_{SR} = \max \left[ \overline{MG}_{SR,links}; \overline{MG}_{SR,rechts} \right] \quad (2.1)$$

Zusätzlich zur Messung der Spurrinntiefen werden auch die fiktiven Wassertiefen ermittelt. Diese setzen sich aus der Spurrinntiefe und der Querneigung zusammen. Diese Werte bieten eine Unterstützung bei der Lokalisierung von kritischen Abschnitten und spielen eine wesentliche Rolle für die Erhaltungsplanung.

### Längsebenheit

Die Längsebenheit wird laut RVS 13.01.13 [63] anhand des „International Roughness Index (IRI)“ auf Basis eines gemessenen Längsprofils erfasst. Dieses muss den Anforderungen der RVS 11.06.68 [57] und der ÖNORM EN 13036-5 [43] entsprechen. Mit Hilfe von virtuellen Ansprechsystemen und einer simulierten Fahrgeschwindigkeit lässt sich die Erfassungsgröße (*IRI* [mm/m oder m/km]) für jeden Betrachtungsabschnitt errechnen.

### Griffigkeit

Durch die Anwendung eines „modifizierten Stuttgarter Reibungsmesser (SRM)“ gemäß den Ausführungen in der RVS 11.06.65 [54] wird über einen konstanten Anpressdruck und die erforderliche Kraft zum Ziehen des Messrades der dimensionslose Reibungsbeiwert ( $\mu_{SRM}$ ) als maßgebende Messgröße der Griffigkeit ermittelt.

### Oberflächenschäden

Entsprechend der Ausführungen der RVS 13.01.16 [67] werden für die Ermittlung der Zustandsgröße *Oberflächenschäden* unterschiedliche Schadensarten über Einzelmerkmale zu einem Kennwert zusammengefasst. Für die Auswertung und Einteilung der festgestellten vorhandenen Oberflächenschäden bei einer visuellen Zustandserfassung ist zunächst die RVS 13.01.11 [62] zu beachten, welche unterschiedliche Schadensarten und Ursachen beschreibt. Dabei ist aufgrund der ma-

<sup>2</sup>Betreffend Neuerscheinung der *RVS 13.01.15* und *RVS 13.01.16* im Jahr 2022 siehe Abschnitt 7.3

terialbedingten Eigenschaften zwischen Asphaltdecken und Betondecken in weiterer Folge zu unterscheiden.

Zur Ermittlung der Zustandsgröße *Oberflächenschäden in Asphaltdecken* werden nur die Einzelmerkmale Ausmagerungen, (Korn-)ausbrüche, Flickstellen, Bindemittelaustritte, Ablösungen, Abplatzungen und Schlaglöcher mit den dazugehörigen Schadensausmaßen und Schadensschwere beurteilt. Tabelle 2.1 fasst die Zuteilungen der Gewichtungsfaktoren für die Einzelmerkmale gemäß RVS 13.01.16 [67] zusammen. Die Produkte aus dem Schadensausmaß des einzelnen Merkmals ( $AM_{OS,i}$  [m<sup>2</sup>]) und dem Gewichtungsfaktor ( $G_{OS,i}$ ) werden anschließend addiert und auf die Betrachtungsfläche ( $A_B$  [m<sup>2</sup>]) umgelegt, um die Zustandsgröße Oberflächenschäden in Asphaltdecken ( $ZG_{OS,Asphalt}$  [%]) zu erhalten:

$$ZG_{OS,Asphalt} = \frac{\sum_i (AM_{OS,i} \cdot G_{OS,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.2)$$

**Tab. 2.1:** Oberflächenschäden bei Asphaltdecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach RVS 13.01.16 [67])

Einzelmerkmal	Schadensausmaß	Schadensschwere Gewichtung ( $G_i$ )
Ausmagerungen	m <sup>2</sup>	S1 ( $G = 1,0$ )
Kornausbrüche	m <sup>2</sup>	
Flickstellen	m <sup>2</sup>	
Bindemittelaustritt	m <sup>2</sup>	
Ablösungen und Abplatzungen	m <sup>2</sup>	S2 ( $G = 5,0$ )
Schlaglöcher	m <sup>2</sup>	

Für die Berechnung der Zustandsgröße *Oberflächenschäden in Betondecken* sind die Einzelmerkmale Ablösungen, Abplatzungen, Kornausbrüche, Kantenschäden, Reparaturstellen aus Asphalt und schadhafte Reparaturstellen aus Beton zu beurteilen. Die Schadensausmaße ( $AM_{OS,i}$  [m<sup>2</sup>]) werden gemäß dem Gewichtungsfaktor ( $G_{OS,i}$ ) in Tabelle 2.2 gewichtet aufsummiert und auf die Bezugsfläche ( $A_B$  [m<sup>2</sup>]) umgelegt, wodurch sich die Zustandsgröße Oberflächenschäden in Betondecken ( $ZG_{OS,Beton}$  [%]) ergibt:

$$ZG_{OS,Beton} = \frac{\sum_i (AM_{OS,i} \cdot G_{OS,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.3)$$

**Tab. 2.2:** Oberflächenschäden bei Betondecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach RVS 13.01.16 [67])

Einzelmerkmal	Schadensausmaß	Schadensschwere Gewichtung ( $G_i$ )
Ablösungen, Abplatzungen und Kornausbrüche von Beton	m <sup>2</sup>	S2 ( $G = 5,0$ )
Kantenschäden	m <sup>2</sup>	
Schadhafte Reparaturstellen aus Beton	m <sup>2</sup>	
Reparaturstellen aus Asphalt	m <sup>2</sup>	

### Risse

Bei der Beurteilung von Rissen ist aufgrund der materialspezifischen Eigenschaften nach der Bauart des Oberbaus zu unterscheiden. Die Erfassung von Rissen erfolgt bis heute überwiegend durch eine visuelle Zustandserfassung vor Ort oder über Bild- bzw. Videosysteme. Bei der Auswertung ist zur Beschreibung der Schäden die RVS 13.01.11 [62] und zur anschließenden Bewertung der Schäden die RVS 13.01.16 [67] zu berücksichtigen.

Für *Risse in Asphaltdecken* ermittelt sich die Zustandsgröße Risse ( $ZG_{RI,Asphalt}$  [%]) gemäß den Einzelmerkmalen der Schäden (Einzelrisse, Nahrisse oder Netzrisse), deren Schadensausmaß ( $AML_{RI,i}$  [m] bzw.  $AMA_{RI,i}$  [m<sup>2</sup>]) und Schadensschwere ( $G_{RI,i}$ ) wie folgt:

$$ZG_{RI,Asphalt} = \frac{0,5 \cdot \sum_i (AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i}) + \sum_i (AMA_{RI,i} \cdot G_{RI,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.4)$$

Da sanierte und vergossene Risse dennoch einen strukturellen Schaden darstellen, sind auch diese weiterhin bei der Beurteilung zu berücksichtigen. Die Zuteilung der Gewichtungsfaktoren ist in Tabelle 2.3 ersichtlich.

**Tab. 2.3:** Risse bei Asphaltdecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach RVS 13.01.16 [67])

Einzelmerkmal	Schadensausmaß	Schadensschwere Gewichtung ( $G_i$ )
Einzelrisse		
Einzelrisse mit Rissbreite < 2 mm und vergossene bzw. sanierte Risse	m bzw. m <sup>2</sup>	S1 ( $G = 0,4$ )
Offene Risse mit Rissbreite 2–10 mm	m bzw. m <sup>2</sup>	S2 ( $G = 1,0$ )
Offene Risse mit Rissbreite > 10 mm oder mehrfach parallele Risse	m bzw. m <sup>2</sup>	S3 ( $G = 4,0$ )
Nahrisse		
Nahrisse mit Rissbreite < 2 mm und vergossene bzw. sanierte Nahrisse	m	S1 ( $G = 0,4$ )
Nahrisse mit Rissbreite $\geq 2$ mm	m	S2 ( $G = 1,0$ )
Netzrisse		
Offene Risse	m <sup>2</sup>	S2 ( $G = 1,0$ )
Offene Risse mit ausgebrochenen Polygonecken	m <sup>2</sup>	S3 ( $G = 4,0$ )

Bei der Zustandsgröße *Risse in Betondecken* sind insbesondere die Einzelmerkmale Risse und Eckabbrüche ( $AML_{RI,i}$  [m]) zu beurteilen. Besitzt die Betondecke einen Überzug, so sind deren Risse wie Asphaltdecken zu behandeln. Auch in Betondecken stellen sanierte Risse und Eckabbrüche einen strukturellen Schaden dar und sind deshalb weiterhin bei der Beurteilung zu berücksichtigen. Die Zuteilung der Gewichtungsfaktoren ( $G_{RI,i}$ ) ist in Tabelle 2.4 ersichtlich. Die Berechnung für die Zustandsgröße Risse in Betondecken ( $ZG_{RI,Beton}$  [%]) ergibt sich bezogen auf die Betrachtungsfläche ( $A_B$  [m<sup>2</sup>]) wie folgt:

$$ZG_{RI,Beton} = \frac{0,5 \cdot \sum_i (AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.5)$$

**Tab. 2.4:** Risse bei Betondecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach *RVS 13.01.16* [67])

Einzelmerkmal	Schadensausmaß	Schadensschwere Gewichtung ( $G_i$ )
Risse		
Sanierte Risse	m	S1 ( $G = 0,4$ )
Offene Risse		S3 ( $G = 4,0$ )
Eckabbrüche		
Sanierte Eckabbrüche	m	S1 ( $G = 0,4$ )
Offene Eckabbrüche		S3 ( $G = 4,0$ )

### Theoretische Tragfähigkeit des Oberbaus

Die Zustandsgröße der theoretischen Tragfähigkeit des Straßenoberbaus stellt eine rein rechnerische Größe dar, welche die strukturelle Ermüdung der Konstruktion gegenüber der „Idealentwicklung“ abbildet. Sie gibt die prozentuale „innere“ Schädigung oder Ermüdung wieder. Die Basis für die „Idealentwicklung“ stellen dabei gemäß dem *Handbuch Pavement Management* [92] die statistische Auswertung der Lebensdauern von Asphalt- und Betontragschichten sowie die Zustandsprognosemodelle Risse dar. Die Berechnung der Zustandsgröße der theoretischen Tragfähigkeit ( $ZG_{\text{Tragf}}$  [%] mit  $0 \leq ZG_{\text{Tragf}} \leq 100$ ) lässt sich folgendermaßen darstellen:

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{e^{-3,6017+0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)}}{VBI \cdot K_{\text{BemPer}}} \cdot K_{\text{Risse}} \quad (2.6)$$

Sie beinhaltet insbesondere die Differenz zwischen dem rechnerischen Oberbaujahr ( $J_{\text{rechn}}$  [Jahr]) und dem aktuellen Jahr der Analyse ( $J_{\text{akt}}$  [Jahr]) im Verhältnis zum Verkehrsbelastungskoeffizienten ( $VBI$ ). Zusätzlich beachtet der Kalibrierfaktor Bemessungsperiode ( $K_{\text{BemPer}}$ ) die Länge der zu berücksichtigende Bemessungsperiode. Da die Formel ursprünglich für Asphaltbauweisen mit einer Bemessungsperiode von 20 Jahren entwickelt wurde, diese jedoch für Autobahnen und Schnellstraßen mittlerweile auf 30 Jahre angehoben wurde, ist für Asphaltstraßen  $K_{\text{BemPer}} = 30/20 = 1,5$  zu verwenden. Für Betondecken ist keine Korrektur erforderlich, da der Berechnungsalgorithmus bereits für eine Bemessungsperiode von 30 Jahren entwickelt wurde, weshalb  $K_{\text{BemPer}} = 1,0$  zur Anwendung kommt. Des Weiteren berücksichtigt die Formel einen Kalibrierfaktor für die Zustandsgröße Tragfähigkeit ( $K_{\text{Tragf}}$  mit  $0,3 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 1,0$ ) und einen Kalibrierfaktor für Risse ( $K_{\text{Risse}}$  mit  $0,005 \leq K_{\text{Risse}} \leq 0,7$ ).

Aufgrund des unterschiedlichen Alterungsverhaltens von Asphalt- und Betondecken muss bei der Ermittlung der Zustandsgröße der theoretischen Tragfähigkeit ebenfalls eine getrennte Betrachtung erfolgen. Hierfür wurden von Weninger-Vycudil et al. [92] auf Basis des Oberbaubemessungskatalogs in der *RVS 03.08.63* [49] und weiterführenden Untersuchungen neun eigene Pavement Management System (PMS)-Typen gebildet. Diese umfassen eine grundsätzliche Einteilung anhand der Bauweise in Asphalt oder Beton und berücksichtigen zusätzlich etwaige ausgeführte Erhaltungsmaßnahmen (siehe Tab. 2.5). Diese Tabelle bildet die Grundlage für die weitere Berechnung der benötigten Kennzahlen des Oberbaus für die Zustandsgrößenermittlung.

Für Asphaltdecken können anhand der Schichtinformationen wesentliche Kennwerte des Oberbaus gemäß den Ausführungen im *Handbuch Pavement Management* [92] zur Bestimmung der Zustandsgröße der theoretischen Tragfähigkeit gebildet werden. Den ersten Wert stellt die Dicke

**Tab. 2.5:** Bautypenzuordnung für Zustandsbewertung (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92])

Bauweise	Bautype	Beschreibung
Asphalt	AS_D	Asphaltbautype (Deckschichtmaßnahme)
	AS_D_DD	Asphaltbautype (Deckschichtmaßnahme) mit Dünnschichtdecke
	AS_N	Asphaltbautype (Neubaukonstruktion)
	AS_N_DD	Asphaltbautype (Neubaukonstruktion) mit Dünnschichtdecke
	AS_V	Asphaltbautype (Verstärkung)
	AS_V_DD	Asphaltbautype (Verstärkung) mit Dünnschichtdecke
Beton	B_D_D	Betonbautype (Deckschichtmaßnahme) mit bit. Decke
	BE_N	Betonbautype (Neubaukonstruktion)
	BE_N_D	Betonbautype (Neubaukonstruktion) mit bit. Decke

der gebundenen Schichten ( $D_{\text{GebSch}}$  [cm]) dar, welche sich aus der Summe der Dicken der einzelnen gebundenen Schichten ( $S_i D$  [cm]) und der Schichtzahl ( $S_i T S_{\text{As}}$ ) ergibt:

$$D_{\text{GebSch}} = \sum_i S_i D \cdot S_i T S_{\text{As}} \quad (2.7)$$

Aus der Definition der dimensionslosen Schichtzahl ( $S_i T S_{\text{As}}$ ) ist zu erkennen, dass dabei nur direkt aufeinanderfolgende Schichten Berücksichtigung finden. Zusätzlich wurde ein Alterskriterium für sehr alte Asphaltsschichten eingeführt, weshalb nur jene Schichten zu berücksichtigen sind, die ab der vierten Ebene eine Altersdifferenz zur darüberliegenden Schicht von maximal 20 Jahren aufweisen. Mit diesem Kriterium wird der Einfluss von alten Asphaltsschichten, welche als Unterlage für neue gebundene Schichten dienen, nicht weiter berücksichtigt.

Als weiteren Kennwert lässt sich aus den Schichtinformationen das rechnerische Herstellungsjahr des Oberbaus ( $J_{\text{rechn,As}}$  [Jahr]) für Asphaltdecken wie folgt ermitteln:

$$J_{\text{rechn,As}} = \frac{\sum_i S_i D \cdot S_i J \cdot S_i T S_{\text{As}}}{D_{\text{GebSch}}} \quad (2.8)$$

Dieses stellt das dickengewichtete Herstellungsjahr der direkt aufeinander folgenden gebundenen Schichten dar, welches sich aus den Schichtdicken ( $S_i D$  [cm]), den Herstellungsjahren ( $S_i J$  [Jahr]) und den Schichtzahlen ( $S_i T S_{\text{As}}$ ) zusammensetzt. Dadurch ist es möglich, auch für Aufbauten mit Erhaltungsmaßnahmen und unterschiedlichem Schichtalter eine gemeinsame Kennzahl zu ermitteln.

Für die Berechnung der zulässigen Normlastwechsel ist zunächst die Bestimmung der Tragfähigkeitszahl ( $TZ_0$ ) zum Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs (=Zeitpunkt 0) erforderlich, welche die Abschätzung der Tragfähigkeit von Asphaltstraßen in Erweiterung der amerikanischen „Structural Number“ ermöglicht. Sie berücksichtigt die Schichtdicken ( $S_i D$  [cm]), die Schichtkoeffizienten ( $S_i K$ ) in Abhängigkeit des Schichtmaterials und die Untergrundtragfähigkeit ( $UG$  mit Standardwert = 2,4) wie folgt:

$$TZ_0 = \sum_i (S_i D \cdot S_i K) + UG \quad [11 \leq TZ_0 \leq 25] \quad (2.9)$$

Im Anschluss kann der zulässige Normlastwechsel ( $NLW_{zul,0}$ ) (bezogen auf eine 10-t-Normachs- last) für den Zeitpunkt 0 (=rechnerisches Herstellungsjahr des Oberbaus) berechnet werden:

$$NLW_{zul,0} = 45,5 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0,741 \cdot TZ_0} \quad (2.10)$$

Wird dieser schlussendlich in Verhältnis zur gesamten prognostizierten Verkehrsbelastung in der Bemessungsperiode von 30 Jahren für Autobahnen und Schnellstraßen (kumulierte Normlast- wechsel) gesetzt, so ergibt dies den Verkehrsbelastungskoeffizienten ( $VBI$ ):

$$VBI = \frac{NLW_{zul,0}}{NLW_{kum,n}} \quad [0,5 \leq VBI \leq 3] \quad (2.11)$$

Die Grundlage für die Berechnung bilden die Ausführungen der *RVS 03.08.63* [49]. Dieser Koeffi- zient ermöglicht die Beurteilung der Dimensionierung. Liegt der Verkehrsbelastungskoeffizient über 1, gibt dies Auskunft darüber, dass der Straßenaufbau mehr Normlastwechsel als erforderlich aushält. Demnach ist der Aufbau des betrachteten Abschnitts überdimensioniert. Das Gegenteil liegt vor, wenn  $VBI < 1,0$  ist. Dies würde bedeuten, dass der Querschnitt des Abschnitts unter- dimensioniert wurde und weniger Normlastwechsel zulässig sind als in der Bemessungsperiode zu berücksichtigen sind.  $VBI = 1,0$  bedeutet, dass der Abschnitt für die Bemessungsperiode richtig dimensioniert wurde.

**Tab. 2.6:** Schichtkoeffizienten Asphaltbauweise (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92])

Schichtbezeichnung	Material der Schicht	Schichtkoeffizient ( $S_i K$ )
Deckschicht	AC_deck_A1, AC_deck_A3, BBTM, MAK, OBH	0,40
	AC_deck_A2	0,42
	MA, SMA_S1, SMA_S2, SMA_S3	0,44
bit. geb. Tragschicht	AC_trag_T1-T3	0,40
	AC_binder	0,42
hydr. geb. Tragschicht	STAB_Z, STAB_K	0,24
	KK	0,14
obere ungeb. Tragschicht	MK	0,12
	RK	0,10
	ZGKK (U1)	0,16
	U_REC_Y	0,20
untere ungeb. Tragschicht	—	0,08

Für die Ermittlung der Zustandsgröße der theoretischen Tragfähigkeit von Betondecken sind anhand der Schichtinformationen die notwendigen Kennwerte gemäß den Ausführungen im *Hand- buch Pavement Management* [92] zu berechnen. Ausgangswert stellt dabei die Gesamtdicke der Betondecke ( $D_{\text{Beton}}$  [cm]) dar, welche sich aus der Summe der Dicken der einzelnen Betondecken ( $S_i D$  [cm]) – Unterbeton und Oberbeton – und der dazugehörigen Schichtzahl ( $S_i T S_{\text{Be}}$ ) ergibt:

$$D_{\text{Beton}} = \sum_i S_i D \cdot S_i T S_{\text{Be}} \quad (2.12)$$

Dabei sind gemäß der Definition der dimensionslosen Schichtzahl ( $S_iTS_{Be}$ ) nur direkt aufeinanderfolgende Betonschichten mittels  $S_iTS_{Be} = 1$  zu berücksichtigen. Allenfalls vorhandene bituminöse Überzüge werden bei der Berechnung außer Acht gelassen. Für alle sonstigen Schichten innerhalb des Aufbaus ist  $S_iTS_{Be} = 0$  einzusetzen. Im nächsten Schritt lässt sich aus dem Zusammenhang zwischen Betondeckendicke von Standardaufbauten der *RVS 03.08.63* [49] und zulässiger Verkehrsbelastung der zulässige Normlastwechsel ( $NLW_{zul,0}$ ) (bezogen auf eine 10-t-Normachlast) für den Zeitpunkt 0 (=rechnerisches Herstellungsjahr des Oberbaus) berechnen:

$$NLW_{zul,0} = 5,48 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,3592 \cdot D_{Beton}} \quad [0,4 \leq NLW_{zul,0} \leq 200] \quad (2.13)$$

Wird dieser in Verhältnis zur gesamten prognostizierten Verkehrsbelastung in der Bemessungsperiode von 30 Jahren (kumulierte Normlastwechsel) gesetzt, so ergibt dies den Verkehrsbelastungskoeffizienten ( $VBI$ ) entsprechend Gleichung (2.11). Die Grundlage für die Berechnung bilden die Ausführungen der *RVS 03.08.63* [49]. Abschließend ist zur Ermittlung des rechnerischen Oberbaujahrs ( $J_{rechn,Be}$  [Jahr]) für Betondecken (=theoretisches Herstellungsjahr), das Herstellungsjahr der obersten Betondecke ( $S_{1,Be}J$  [Jahr]) und die dazugehörige Schichtzahl heranzuziehen:

$$J_{rechn,Be} = S_{1,Be}J \cdot S_iTS_{Be} \quad (2.14)$$

### 2.1.2 Berechnung der Zustandswerte mittels Normierung

Die ermittelten Zustandsgrößen stellen unterschiedliche Merkmale dar und spiegeln lediglich eine Beurteilung des Grads der Schädigung wider. Daher ist keine eindeutige Aussage über einen vergleichbaren Zustand möglich. Dies bedingt eine Normierung der einzelnen Zustandsgrößen in dimensionslose Zustandswerte. Dabei wird die Auswirkung der Schädigung auf die Erhaltungsziele der Straßennutzer und -erhalter auf Basis von statistischen Auswertungen (siehe Molzer und Litzka [41]) und Expertenerfahrungen über die Normierungsfaktoren abgebildet. Diese können sich in Abhängigkeit der Straßenkategorie und den damit verbundenen geänderten Anforderungen unterscheiden.

Der dimensionslose Zustandswert eines Merkmals ( $ZW_i$ ) wird über eine für das gesamte Autobahnen- und Schnellstraßennetz in Österreich gültige lineare Normierungsfunktion gemäß Weninger-Vycudil et al. [92] auf Basis der dazugehörigen Zustandsgröße ( $ZG_i$ ) angegeben:

$$ZW_i = d_i + k_i \cdot ZG_i \quad (2.15)$$

Zur Ermittlung der Zustandswerte sind die zugehörigen Normierungsparameter ( $d_i$ ,  $k_i$ ), der untere Grenzwert ( $ZW_{i,min}$ ) und obere Grenzwert ( $ZW_{i,max}$ ) je Zustandsmerkmal in Tab. 2.7 zusammengefasst. Abb. 2.1 zeigt die Verläufe der Normierungsfunktionen für die Zustandswerte Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit, Oberflächenschäden und Risse innerhalb der angeführten Grenzen.

#### Zuordnung der Zustandswerte zu Zustandsklassen

Anhand der ermittelten Zustandswerte ist die Bewertung entsprechend der in Tabelle 2.8 dargestellten fünfteiligen Notenskala möglich. Diese reicht von 1 – sehr guter bis 5 – sehr schlechter Zustand. Zudem stellt der Übergang von Klasse 3 auf 4 (Zustandswert 3,5) den Warnwert und zwischen Klasse 4 und 5 (Zustandswert 4,5) den Schwellenwert dar, welche für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen ausschlaggebend sind. Bei Erreichen des Warnwertes sollten Erhaltungsmaßnahmen in Erwägung gezogen werden, wohingegen beim Schwellenwert bereits kurzfristige Maßnahmen bzw. Sofortmaßnahme getroffen werden müssen.

**Tab. 2.7:** Normierungsparameter für die Ermittlung der Zustandswerte

Merkmal	$ZW_{min}$	$ZW_{max}$	$d_i$	$k_i$
Spurrinnen	1,0	5,0	1,0	0,175
Längsebenheit	1,0	5,0	1,0	0,7778
Griffigkeit [ $ZG_{GR} \leq 0,45$ ]	3,5	5,0	9,9286	-14,286
Griffigkeit [ $ZG_{GR} > 0,45$ ]	1,0	3,5	6,5	-6,6667
Oberflächenschäden	1,0	5,0	1,0	0,0875
Risse	1,0	5,0	1,0	0,35

**Tab. 2.8:** Zustandsklasseneinteilung (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92])

Zustandsklasse	Klassenname	Zustandswert
1	Sehr gut	[1,0 – 1,5)
2	Gut	[1,5 – 2,5)
3	Mittel	[2,5 – 3,5)
4	Schlecht	[3,5 – 4,5)
5	Sehr schlecht	[4,5 – 5,0]

### 2.1.3 Teilwertermittlung – Gebrauchswert (GI)

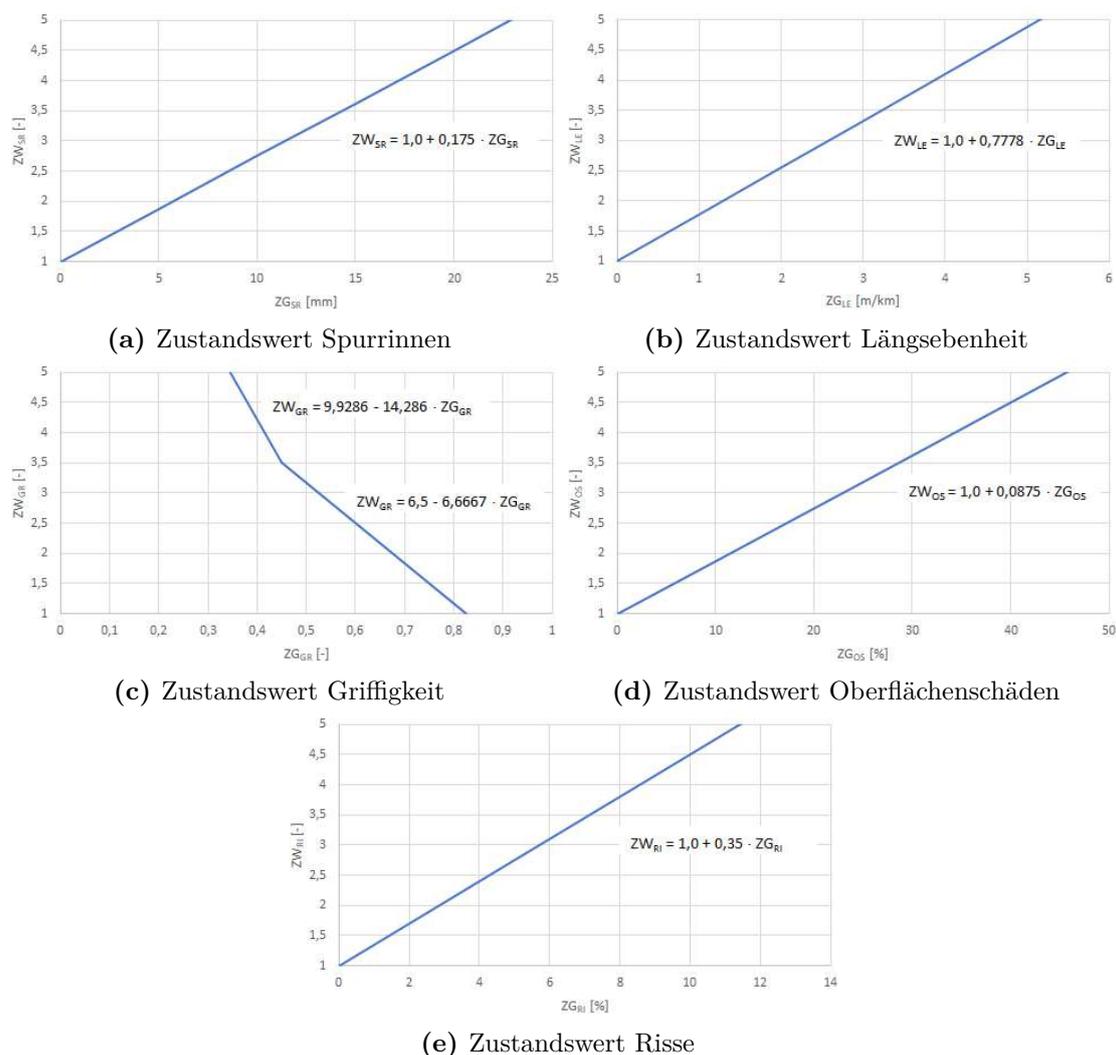
Im Anschluss an die Ermittlung der Zustandswerte können diese entsprechend den Ausführungen im *Handbuch Pavement Management* [92] zu den beiden Teilwerten Gebrauchswert ( $GI$ ) und Substanzwert ( $SI$ ) zusammengeführt werden. Die beiden Werte berücksichtigen unterschiedliche Gewichtungen und Verknüpfungen der Zustandswerte und Zustandsgrößen um die Erfüllung der Erhaltungsziele bestmöglich zu beschreiben. Der Gebrauchswert dient dabei zur Beschreibung der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts. Im ersten Schritt sind die hierfür relevanten Zustandsmerkmale zur erfassen. Diese sind gemäß den Ausführungen von Weninger-Vycudil et al. [92] sowohl für Asphalt- als auch Betondecken gültig. In die Berechnung fließen die Zustandswerte Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit sowie die Zustandsgröße Oberflächenschäden ein. Dabei ist zu berücksichtigen, dass es durch einen einzigen schlechten Zustandswert bzw. eine einige schlechte Zustandsgröße zu einer starken Beeinträchtigung kommen kann, weshalb die Durchschlagsregel angewendet wird.

Zur Berechnung des Gebrauchswerts ( $GI$ ) werden zunächst nochmals zwei dimensionslose Teilwerte ermittelt – Gebrauchsteilwert Sicherheit ( $GI_{\text{Sicherheit}}$ ) und Gebrauchsteilwert Fahrkomfort ( $GI_{\text{Komfort}}$ ). Der Teilwert für die Sicherheit ergibt sich aus den Zustandswerten der Spurrinnen ( $ZW_{\text{SR}}$ ) und Griffigkeit ( $ZW_{\text{GR}}$ ) wie folgt:

$$GI_{\text{Sicherheit}} = \max [ZW_{\text{SR}}; ZW_{\text{GR}}] + 0,1 \cdot \min [ZW_{\text{SR}}; ZW_{\text{GR}}] - 0,1 \quad (2.16)$$

Für den Teilwert Fahrkomfort sind der Zustandswert der Längsebenheit ( $ZW_{\text{LE}}$ ) und die Zustandsgröße der Oberflächenschädigung ( $ZG_{\text{OS}}$ ) zu berücksichtigen:

$$GI_{\text{Komfort}} = \max [ZW_{\text{LE}}; 1 + 2,1875 \cdot 10^{-3} \cdot ZG_{\text{OS}}^2] + 0,1 \cdot \min [ZW_{\text{LE}}; 1 + 2,1875 \cdot 10^{-3} \cdot ZG_{\text{OS}}^2] - 0,1 \quad (2.17)$$



**Abb. 2.1:** Normierungsfunktionen der Zustandswerte (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92])

Die Ergebnisse beider Teilwerte sind dabei jeweils auf einen Wert zwischen 1,0 und 5,0 beschränkt. Abschließend werden die beiden Gebrauchsteilwerte zum Gebrauchswert ( $GI$ ) zusammengefasst:

$$GI = \max [GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}] + 0,1 \cdot \min [GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}] - 0,1 \quad (2.18)$$

### 2.1.4 Teilwertermittlung – Substanzwert (SI)

Gegenüber dem Gebrauchswert gibt der Substanzwert ( $SI$ ) Auskunft über die technisch-strukturelle Beschaffenheit des Straßenoberbaus. Der ursprüngliche Berechnungsalgorithmus von Weninger-Vycudil et al. [94] wurde im Zuge des Forschungsprojekts „Erhaltungsziel integraler Substanzwert im Anlagenmanagement der ASFINAG (ELISA<sup>ASFINAG</sup>)“ analysiert und überarbeitet, woraus sich das in dieser Arbeit angeführte Modell entwickelte. Die Ausführungen hierzu sind im Endbericht des Projekts [91] und dem *Handbuch Pavement Management in Österreich (Version 2016)* [92] angeführt. Im Wesentlichen setzt sich der Substanzwert ( $SI$ ) aus den beiden dimensionslosen Teilwerten Substanzteilwert Decke ( $SI_{\text{Decke}}$ ) und Substanzteilwert Tragfähigkeit ( $SI_{\text{Tragf}}$ ) mit unterschiedlichen Gewichtungen zusammen. Ist die Dicke der Deckschicht ( $D_{\text{Decke}}$  [cm]) kleiner

als die Gesamtdicke aller gebundenen Schichten ( $D_{\text{GebSch}}$  [cm]) ermittelt sich der Substanzwert wie folgt:

$$SI = \frac{SI_{\text{Deck}} \cdot D_{\text{Deck}} + SI_{\text{Tragf}} \cdot D_{\text{GebSch}}}{D_{\text{GebSch}} + D_{\text{Deck}}} \quad (2.19)$$

Entspricht die Dicke der Deckschicht der Gesamtdicke aller gebundenen Schichten ( $D_{\text{Deck}} = D_{\text{GebSch}}$ ) oder ist die vorhandene Bautype = BE\_N, dann vereinfacht sich Gleichung (2.19) zu:

$$SI = \frac{SI_{\text{Deck}} + SI_{\text{Tragf}}}{2} \quad (2.20)$$

Der auf diese Weise ermittelte Substanzwert ( $SI$ ), sowie die beiden dimensionslosen Teilwerte, sind dabei jeweils auf einen Wert zwischen 1,0 und 5,0 beschränkt. Die Berechnung der beiden Substanzteilwerte wird im Anschluss näher erläutert, da insbesondere für den Substanzteilwert Decke nach den vorhandenen Oberbaumaterialien unterschieden werden muss.

### Substanzteilwert Decke

Der Substanzteilwert Decke ( $SI_{\text{Deck}}$ ) beschreibt die strukturelle Schädigung des Oberbaus an der Oberfläche, weshalb zur Berechnung die Zustandsmerkmale Risse, Oberflächenschäden, Spurrinnen und Längsebenheit von Bedeutung sind. Durch die Anwendung des Maximalkriteriums wird sichergestellt, dass der Substanzteilwert bereits durch ein markantes Zustandsmerkmal signifikant erhöht wird. Aufgrund der unterschiedlichen Alterungsfunktionen von Asphalt- und Betonkonstruktionen sind insbesondere bei der Berücksichtigung des Alters unterschiedliche Formeln anzuwenden.

Für Oberbaukonstruktionen aus Asphalt lässt sich der dimensionslose Substanzteilwert Decke ( $SI_{\text{Deck,As}}$ ) auf Basis von drei Teilwerten ermitteln:

$$SI_{\text{Deck,As},1} = \max(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) - 0,1 \quad (2.21)$$

$$SI_{\text{Deck,As},2} = \max \left[ \min \left( 1 + 109,38 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{\text{SR}}^3; 5 \right); \min \left( 1 + 38\,409,88 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{\text{LE}}^3; 5 \right) \right] \quad (2.22)$$

$$SI_{\text{Deck,As},3} = \min(0,08 \cdot ZW_{\text{RI}} + 0,61; 0,85) \cdot ZW_{\text{Alter,As}} \quad (2.23)$$

Diese basieren neben den Zustandswerten der Zustandsmerkmale Risse ( $ZW_{\text{RI}}$ ) und Oberflächenschäden ( $ZW_{\text{OS}}$ ) sowie den Zustandsgrößen der Merkmale Spurrinnen ( $ZG_{\text{SR}}$  [mm]) und Längsebenheit ( $ZG_{\text{LE}}$  [m/km]), welche entsprechend den Ausführungen in den Abschnitten 2.1.1 und 2.1.2 zu ermitteln sind, auch auf der Beurteilung des Alters der Deckschicht ( $Alt_{\text{Decke}}$  [Jahr]). Dies erlaubt eine zusätzliche Abschätzung der strukturellen Entwicklung des Oberbaus unabhängig von Oberflächenbeurteilungen mithilfe des Zustandswerts Alter ( $ZW_{\text{Alter,As}}$ ) wie folgt:

$$ZW_{\text{Alter,As}} = f_{\text{As}} \cdot Alter_{\text{Decke}} - 0,17 \quad [1,0 \leq ZW_{\text{Alter,As}} \leq 5,0] \quad (2.24)$$

Die Berechnung basiert auf der mittleren Lebensdauer von Oberbaukonstruktionen aus Asphalt gemäß Weninger-Vycudil [85] und berücksichtigt mittels des dimensionslosen Altersfaktors ( $f_{\text{As}}$ ) aus Tab. 2.9 einerseits die Dicke der Asphaltdecke und eine etwaige Offenporigkeit. Schlussendlich ergibt sich der Substanzteilwert Decke ( $SI_{\text{Deck,As}}$ ) innerhalb der Grenzwerte 1,0–5,0 über das Maximalkriterium aus den drei angeführten Gleichungen folgendermaßen:

$$SI_{\text{Deck,As}} = \max [SI_{\text{Deck,As},1}; SI_{\text{Deck,As},2}; SI_{\text{Deck,As},3}] \quad (2.25)$$

**Tab. 2.9:** Faktoren Alter Asphaltdecken (nach Weninger-Vycudil et al. [92])

	$f_{As}$
Gesamtdicke > 2 cm	0,21
Gesamtdicke ≤ 2 cm	0,30
offenporige Asphaltdecken (Drainasphalt)	0,35

Für Oberbaukonstruktionen in Betonbauweise gibt es ebenso für die Berechnung des Substanzteilwerts Decke ( $SI_{Deck,Be}$ ) drei Gleichungen:

$$SI_{Deck,Be,1} = \max(ZW_{RI}; ZW_{OS}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{RI}; ZW_{OS}) - 0,1 \quad (2.26)$$

$$SI_{Deck,Be,2} = \max \left[ \min \left( 1 + 109,38 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{SR}^3; 5 \right); \min \left( 1 + 38\,409,88 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{LE}^3; 5 \right) \right] \quad (2.27)$$

$$SI_{Deck,Be,3} = SI_{Tragf} \quad (2.28)$$

Diese berücksichtigen bei der Ermittlung neben den Zustandswerten der Zustandsmerkmale Risse ( $ZW_{RI}$ ) und Oberflächenschäden ( $ZW_{OS}$ ), die Zustandsgrößen Spurrinnen ( $ZG_{SR}$  [mm]) und Längsebenheit ( $ZG_{LE}$  [m/km]) sowie den Substanzwert der theoretischen Tragfähigkeit ( $SI_{Tragf}$ ). Schließlich ergibt sich aus dem Maximum der drei angeführten Formeln der Substanzwert Decke für Betondecken ( $SI_{Deck,Be}$ ), welcher laut den angegebenen Grenzwerten zwischen 1,0 und 5,0 liegen muss:

$$SI_{Deck,Be} = \max [SI_{Deck,Be,1}; SI_{Deck,Be,2}; SI_{Deck,Be,3}] \quad (2.29)$$

### Substanzteilwert theoretische Tragfähigkeit

Der Substanzteilwert der theoretischen Tragfähigkeit ( $SI_{Tragf}$ ) lässt sich, in Anlehnung an die Normierung der Zustandsgrößen zur Ermittlung der Zustandswerte, über einen linearen Zusammenhang berechnen:

$$SI_{Tragf} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG_{Tragf} \quad (2.30)$$

Das Ergebnis muss dabei innerhalb der unteren und oberen Grenze (1,0–5,0) liegen. Bezüglich der Berechnung der Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit ( $ZG_{Tragf}$  [%]), wird auf Abschnitt 2.1.1 dieser Arbeit verwiesen.

### 2.1.5 Zusammenfassung zum Gesamtwert

Der Gesamtwert erlaubt mit der Zusammenfassung aller Zustandsmerkmale des Straßenoberbaus die Beurteilung der Wirkung von Erhaltungsmaßnahmen auf den gesamten Straßenzustand. Damit sind sowohl die Erhaltungsziele der Fahrsicherheit und des Fahrkomforts, als auch jene der strukturellen Beschaffenheit berücksichtigt. Gemäß den Ausführungen von Weninger-Vycudil et al. [92] im *Handbuch Pavement Management in Österreich (2016)* werden der Gebrauchswert ( $GI$ ) und Substanzwert ( $SI$ ) in Abhängigkeit von der Straßenkategorie gewichtet. Die vorgeschlagenen Gewichtungsfaktoren ( $W_{GI}$  und  $W_{SI}$ ) in Tab. 2.10 berücksichtigen, dass der Gesamtwert höchstens um eine Zustandsklasse gegenüber den Teilwerten reduziert werden kann. Der Maximalwert der gewichteten Teilwerte bildet den Gesamtwert ( $GW$ ) des Fahrstreifens:

$$GW = \max [W_{GI} \cdot GI; W_{SI} \cdot SI] \quad (2.31)$$

Der gesamtwirksame Gesamtwert für den Straßenabschnitt entspricht in weiterer Folge dem Maximum der fahrstreifenbezogenen Zustandswerte. Der so erhaltene Gesamtwert kann innerhalb der Grenzwerte (1,0–5,0), wie bereits bei den Zustandsklassen beschrieben, entsprechend der 5-teiligen Notenskala in Tab. 2.8 klassifiziert werden.

**Tab. 2.10:** Gewichtungsfaktoren Gesamtwert (nach Weninger-Vycudil et al. [92])

Straßenkategorie	$W_{GI}$	$W_{SI}$
Autobahnen und Schnellstraßen	1,0	0,89
Landesstraßen	1,0	0,80

## 2.2 Zustandserfassung und -bewertung von Kunstbauwerken

Für die Zustandserfassung und Bewertung von Kunstbauwerken im Zuge von Straßen sind in Österreich die RVS-Richtlinien der Serie *RVS 13.03 Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten* des FSV in der aktuell gültigen Fassung zu berücksichtigen. Für Brücken ist hierbei die *RVS 13.03.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßenbrücken* [69] und für baulich konstruktive Tunnelbestandteile die *RVS 13.03.31 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßentunnel – Baulich konstruktive Teile* [70] zu berücksichtigen. Sie umfassen zeitliche und inhaltliche Regelungen zur Zustandserfassung sowie Vorgaben zur Bewertung der betreffenden Bauwerke und ihrer Anlagenteile, welche in den anschließenden Abschnitten näher erläutert werden.

### 2.2.1 Zustandserfassung

Die *RVS 13.03.11* [69] und *RVS 13.03.31* [70] enthalten Bestimmungen für die Erfassung des aktuellen Bauwerkszustand. Diese umfassen die laufende bautechnische Überwachung, Kontrollen und Prüfungen der betreffenden Bauwerke der Straßeninfrastruktur, um die Zuverlässigkeit und Verkehrssicherheit aufrecht zu erhalten. Die Gemeinsamkeiten der betreffenden RVS-Richtlinien werden nachfolgend für alle Kunstbauwerke zusammengefasst und anschließend auf die Besonderheiten in den Bestimmungen der einzelnen Bauwerksarten eingegangen.

#### Laufende Überwachung

Die laufende Überwachung von Kunstbauwerken umfasst entsprechend den betreffenden RVS-Richtlinien [69, 70], die Feststellung von groben Schäden und auffälligen Veränderungen zur Überprüfung der Aufrechterhaltung der erforderlichen Funktionstüchtigkeit und Verkehrssicherheit des Bauwerks. Wesentlich ist dabei, dass bei der laufenden Überwachung ausschließlich jene Mängel und Veränderungen erhoben werden, welche bei einer Befahrung der Strecke durch den zuständigen Streckendienst oder eine gleichermaßen befähigte Person vom Fahrzeug aus ersichtlich sind. Demnach werden für die Überwachung keine gesonderten Prüfverfahren oder Messgeräte eingesetzt. Die Kontrollfahrten können grundsätzlich im Zuge der Befahrung des zuständigen Streckendienstes erfolgen, müssen jedoch mindestens alle vier Monate durchgeführt werden. Dies gilt insbesondere für Kunstbauten innerhalb von Straßenabschnitten, welche nicht über einen eingerichteten Streckendienst verfügen.

Die Richtlinien sehen keine zwingend erforderliche schriftliche Dokumentation der Ergebnisse von Kontrollfahrten vor, jedoch müssen festgestellte Mängel und Veränderungen dem Erhaltungs-

verpflichteten in schriftlicher Form mitgeteilt werden. Falls diese zudem die Verkehrssicherheit negativ beeinflussen, sind umgehend die erforderlichen Veranlassungen zu treffen.

### Kontrolle

Gemäß *RVS 13.03.11* [69] und *RVS 13.03.31* [70] dient die Kontrolle der augenscheinlichen Feststellung, Dokumentation und Beurteilung von Veränderungen des Zustands in Bezug auf die letzte Kontrolle bzw. Prüfung. In Ausnahmefällen kann es erforderlich sein, dass bestimmte Bauteile einer genaueren Prüfung zu unterziehen sind. Dieser Umstand ist in der Prüfanweisung genau festzuhalten und im Befund zu dokumentieren.

Die Richtlinien sehen vor, dass die Kontrolle von einem sachkundigen Ingenieur, dafür geschultem Personal oder erfahrenem Fachpersonal (z. B. Brückenmeister) durchzuführen ist. Dabei können interne Schulungen des Bauwerkserhalters, Aus- und Weiterbildungen des FSV oder gleichwertige Schulungen als Befähigung herangezogen werden. Grundsätzlich kommen bei der Kontrolle eines Kunstbauwerks durch eine fachkundige Person weder zusätzliche Rüstungen noch besondere Geräte zur Anwendung. Während der Vorbereitung ist darauf zu achten, die besonderen Anweisungen und Hinweise des letzten vorliegenden Befunds zu berücksichtigen und, dass die Zugänglichkeit jener Bauteile, die eine besondere Untersuchung laut Prüfanweisung oder einschlägiger RVS-Richtlinien erfordern, auf jeden Fall gegeben ist.

Bezüglich der zeitlichen Planung von Kontrollen ist gemäß *RVS 13.03.11* [69] und *RVS 13.03.31* [70] ein Maximalabstand von zwei Jahren zwischen den Kontrollen einzuhalten. Dieser Abstand kann aufgrund des Anlagenzustands auch verringert werden. Generell ist jedoch zu beachten, dass Kunstbauwerke nach außergewöhnlichen Ereignissen in jedem Fall einer Kontrolle zu unterziehen sind, um etwaige Veränderungen durch den Vorfall zu dokumentieren. Zu diesen Ereignissen zählen insbesondere außergewöhnliche Umweltereignisse, wie beispielsweise Hochwässer, Erdbeben, Lawinen- und Murenabgänge, sowie Ereignisse in Folge von Unfällen wie Brände, Fahrzeuganprall etc.

Die Ergebnisse einer durchgeführten Kontrolle sind entsprechend den Vorgaben in den Richtlinien in einem Befund zu dokumentieren. Insbesondere ist festzuhalten welchen Zustand das kontrollierte Bauwerk im Vergleich zum letzten Befund aufweist, die daraus abgeleitete Benutzbarkeit des Verkehrsweges, bisher nicht erfasste Mängel/Schäden und falls erforderlich daraus bedingte Sofortmaßnahmen. Weist das Bauwerk Anlagenteile auf, deren Mängel oder Schäden im Zuge einer Kontrolle nicht beurteilt werden können, so ist eine Prüfung der betreffenden Bauteile zu veranlassen. Zuletzt ist im Befund einer Kontrolle das Jahr der nächsten Kontrolle und etwaige besondere Hinweise hierfür oder für die nächste Prüfung festzuhalten.

### Prüfung

*RVS 13.03.11* [69] und *RVS 13.03.31* [70] sehen vor, dass die Prüfung der Ermittlung des Erhaltungszustands von Kunstbauten sowie dessen Dokumentation und Bewertung dient. Falls erforderlich, sind im Zuge der Prüfung nachfolgend notwendige Maßnahmen vorzuschlagen.

Die Leitung einer Bauwerksprüfung obliegt einer sachkundigen Person mit einschlägiger Erfahrung im Bereich der Brücken-/Tunnelprüfung oder dem Brücken-/Tunnelbau, der die grundlegenden statischen Verhältnisse und das Tragverhalten beurteilen kann. Zusätzlich muss der Prüfer in der Lage sein, Abschätzungen für den Einfluss von am Bauwerk erkannten Schäden in Bezug auf dessen Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit zu treffen. Bei der Durchführung der Bauwerksprüfung stehen dem Prüfer im Regelfall zusätzliches Personal und geeignete Geräte, je nach Größe des zu untersuchenden Bauwerks, zur Verfügung. Bezüglich der maximalen Prüffristen geben die RVS-Richtlinien unterschiedliche Zeiträume für Brücken und Tunnel vor, diese sind in den Abschnitten 2.2.2 und 2.2.3 dieser Arbeit enthalten. Beide Richtlinien weisen jedoch darauf hin, dass die erste Prüfung rechtzeitig vor Ablauf der Gewährleistungsfrist zu erfolgen hat.

Nach Abschluss der Bauwerksprüfung ist entsprechend *RVS 13.03.11* [69] und *RVS 13.03.31* [70] ein Prüfbericht durch den Prüfer zu erstellen. Wenn der Erhaltungsverpflichtete des Bauwerks es erlaubt, ist für die Dokumentation der Prüfungsergebnisse auch aussagekräftiges Bildmaterial mit einer eindeutigen Zuordnung der geprüften Stelle (z. B. mit Planzuordnung) zulässig. Der Befund muss jedenfalls den Zustand des geprüften Bauwerk inkl. den Zustandsnoten für Bauwerksteile und das Gesamtbauwerk, eine Auflistung der nicht prüfbaren Anlagenteile und die aus diesen ableitbare Benutzbarkeit des Verkehrsweges im bisherigen Umfang enthalten. Während der Prüfung festgestellte Mängel und Schäden sowie Veränderungen dieser gegenüber der letzten Kontrolle oder Prüfung sind zu dokumentieren. Kann der Prüfer im Zuge der Bauwerksprüfung eine mögliche Ursache für die erkannten Mängel bzw. Schäden ableiten, so hat er auch diese Vermutungen im Befund niederzuschreiben. Zusätzlich enthält der Prüfbericht eines Brücken- oder Tunnelbauwerks die erforderlichen Maßnahmen sowie Sofortmaßnahmen in Hinblick auf die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Anlage inkl. einem Vorschlag über die zeitliche Einleitung dieser. Außerdem sind Empfehlungen für Folgemaßnahmen und besondere Anweisungen und Hinweise für die nächsten Kontrollen bzw. Prüfungen, eventuelle Sonderprüfungen, die Durchführung von statischen Nachrechnungen und das Jahr der nächsten Prüfung festzuhalten.

### 2.2.2 Besonderheiten in der Zustandserfassung von Brücken

Für die Zustandserfassung von Straßenbrücken ist in Österreich die *RVS 13.03.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßenbrücken* [69] des FSV in der aktuell gültigen Fassung zu berücksichtigen. Diese besitzt Gültigkeit für alle Brückenbauwerke mit einer senkrechten lichten Weite von über 2 m sowie für verwandte Kunstbauten ohne gesonderte Prüfvorschriften, wie beispielsweise Tunnelbauwerke in offener Bauweise oder Deckelbauweise. Sie umfasst Regelungen für die laufende bautechnische Überwachung, Kontrolle und Prüfung, wie bereits in Abschnitt 2.2.1 ausgeführt wurde. Die für Brückenbauwerke spezifischen Regelungen für die Zustandserfassung werden nachfolgend näher erläutert.

#### Laufende Überwachung

Im Zuge einer laufenden Überwachung soll gemäß *RVS 13.03.11*, Abschnitt 4.2 [69, S. 5] unter anderem auf folgende Mängel und Veränderungen an der Fahrbahn und Brückenausrüstung bei der Feststellung der Funktionstüchtigkeit und Verkehrssicherheit geachtet werden:

- Außergewöhnliche Veränderungen am Bauwerk,
- Schäden an der Fahrbahndecke einschließlich Randbalken,
- Schäden an der Ausrüstung wie an Übergangskonstruktionen, Geländern, Leitschienen, Lärmschutzeinrichtungen, Schnee- und Spritzschutzeinrichtungen,
- Schäden an Entwässerungen,
- Schäden an Böschungen sowie
- Schäden an allenfalls vorhandenen objektbezogenen Verkehrszeichen und Hinweisschildern.

#### Kontrolle

Abschnitt 5.5 bis 5.7 der *RVS 13.03.11* [69, S. 6 ff.] gibt Aufschluss darüber, welche auffälligen Veränderungen bei der Kontrolle der einzelnen Bauteile eines Brückenbauwerks festgestellt, dokumentiert und beurteilt werden sollten. Die nachfolgende Aufzählung gibt einen Ausschnitt der bei Brückenbauteilen zu untersuchenden Parameter wieder:

- Verformungen und Lagegenauigkeit,
- Bildung von Kolken und Anlandungen,
- Zustand von Sohl- und Böschungssicherungen sowie Uferanbrüche,
- Veränderungen im Geländeprofil,
- Wasseraustritte aus Bauteilen,
- Zustand des Korrosions- bzw. Oberflächenschutz,
- Fehlende oder schadhafte Verbindungsmittel,
- auffällige Veränderungen der Oberfläche von Bauteilen (z. B. Abplatzungen an Widerlagern etc.) sowie
- Risse.

### Prüfung

Brückenprüfungen sind im Anschluss an die Erstprüfung – vor Ablauf der Gewährleistungsfrist – gemäß *RVS 13.03.11* [69] spätestens alle sechs Jahre durchzuführen. Sollte es jedoch der Zustand der Brücke erfordern, dann kann vom Prüfer oder Erhalter auch ein kürzerer Prüfungsabstand festgelegt werden. Zudem sieht diese Richtlinie für Brücken ohne bewegliche Teile und mit einfachen statischen Verhältnissen, bei termin- und sachgerechter Durchführung der Kontrollen zur Bestätigung der Benutzbarkeit, eine Ausdehnung der Prüfungsfristen auf zwölf Jahre vor. Ist bei einem Objekt der vorgegebenen Prüfungsumfang nicht ausreichend für eine Beurteilung, sind Sonderprüfungen vorzusehen. Zudem sieht diese Richtlinie vor, dass Brücken bis zu einer lichten Weite von 20 m und mit einfachen statischen Verhältnissen bei sachkundigen Erhaltungsverpflichteten durch entsprechend geschultes oder erfahrenes Fachpersonal anstelle eines sachkundigen Ingenieurs geprüft werden können.

Für eine ganzheitliche Bewertung sind Vorbereitungsarbeiten an den zu prüfenden Bauwerken erforderlich. Diese umfassen neben einer sorgfältigen Reinigung, das Entfernen von störendem Bewuchs, das Öffnen von verschließbaren Zugängen, etwaiges Entfernen von abnehmbaren Brückenteilen und die Sicherstellung einer ausreichenden Belichtung. Mit Hilfe von Leitern, Rüstungen und Brückeninspektionsgeräten ist die Erreichbarkeit aller Bauteile zu sichern. Sind bereits Monitoringsysteme oder Messprogramme für ein Objekt vorhanden, dann sind auch deren Ergebnisse dem Prüfer zur Verfügung zu stellen. Entsprechend Punkt 6.1 der *RVS 13.03.11* sind im Zuge einer Brückenprüfung insbesondere folgende Bauteile zu untersuchen und zu bewerten:

- Unterbau,
- Überbau,
- Deckschicht,
- Lager,
- Fahrbahnübergang,
- Abdichtung, Entwässerung,
- Randbalken sowie
- sonstige Ausrüstung.

Diese Bauteile sind unter anderem auf Risse, Fehlstellen, Hohlstellen, Abplatzungen, Nester, Wasseraustritte, Verkolkungen und Korrosionsschäden zu untersuchen. Bei Lagern sowie Fahrbahnübergängen spielt zusätzlich die Beweglichkeit eine wesentliche Rolle. Die Überprüfung im Sinne der Zustandserhebung umfasst zusätzlich einen Vergleich der Neigungen bzw. etwaiger horizontaler und vertikaler Verschiebungen gegenüber der Ursprungslage und die Einhaltung der Lichtraummaße entsprechend den vorgesehenen Richtlinien. Abschließend ist auch das umliegende Gelände und die Böschungen im Nahbereich der Brücke auf Anzeichen von Rutschungen und Ausspülungen zu untersuchen.

### 2.2.3 Besonderheiten in der Zustandserfassung von baulich konstruktiven Teilen in Straßentunneln

Die Zustandserfassung von Straßentunneln und vergleichbaren Bauwerken erfolgt in Österreich nach der *RVS 13.03.31 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßentunnel – Baulich konstruktive Teile* [70] des FSV in der aktuell gültigen Fassung. Diese bezieht sich auf alle baulich konstruktiven und dazugehörigen Tunnelanlagen sowie die Einwirkungen auf den Tunnel im Sinne einer gesamtheitlichen Betrachtung. Sie umfasst Regelungen für die laufende bautechnische Überwachung, Kontrolle und Prüfung wie bereits in Abschnitt 2.2.1 allgemein beschrieben wurde. Die für Straßentunnel spezifischen Regelungen für die Zustandserfassung werden in den nachfolgenden Abschnitten näher erläutert.

#### Laufende Überwachung

Bei der laufenden Überwachung soll gemäß *RVS 13.03.31* Abschnitt 4.2 [70, S. 3] unter anderem auf folgende sichtbare Mängel und auffällige Veränderungen an baulich konstruktiven Anlagenteilen und den zugehörigen Anlagen zur Feststellung der Funktionstüchtigkeit und Verkehrssicherheit im Fahrraum geachtet werden:

- Außergewöhnliche Veränderungen am Bauwerk,
- Beschädigungen, auffällige höhenmäßige Veränderungen und Risse in der Fahrbahn einschließlich der Bordsteine und erhöhten Seitenstreifen sowie Schachtabdeckungen,
- Schäden an objektbezogenen Ampelanlagen, Verkehrszeichen und Hinweisschildern,
- auffällige Rutschungen im Bereich der Tunnelportale, auffällige Risse im Tunnelportal, auffällige Setzungen, Schiefstellungen oder Verdrehungen der Stirn- und Flügelmauern,
- auffällige Beschädigungen durch den Verkehr (auch Verkehrsunfälle),
- Eisbildung, auffällige Feuchtstellen, Wasserzutritte,
- Benutzbarkeit der erhöhten Seitenstreifen, Pannenbuchten,
- auffällige Beschädigungen der Tunnelentwässerung (einwandfreie Ableitung des Wassers von der Fahrbahn) sowie
- herabhängende oder herabgefallene Teile (z. B. Betonbruchstücke, Verkleidungen,...).

#### Kontrolle

Abschnitt 5.4 der *RVS 13.03.31* [70, S. 4 f.] enthält neben den besonderen Anweisungen und Hinweisen eine Auflistung von Konstruktionsteilen, die bei einer Kontrolle in Tunnelbauwerken zu berücksichtigen sind. Die dort festgestellten Mängel, Schäden oder auffälligen Veränderungen sind jedenfalls im Befund zu dokumentieren und zu beurteilen. Die nachfolgende Aufzählung gibt die bei einer Kontrolle von Tunnelbauwerken zu untersuchenden Anlagenteile wieder:

- Portale,
- Tunnelstrecke (Tunnelauskleidung und Tunnelinnengewölbe),
- Tunnelanstrich,
- Pannenbuchten, Nischen, Kavernen,
- Flucht-, Rettungswege und Zugänge,
- Räume für Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen,
- Fahrbahndecke (siehe auch Abschnitt 2.1),
- Bordsteine, erhöhte Seitenstreifen sowie
- Entwässerungseinrichtungen (Fahrbahntwässerung, Bergentwässerung, Gewässerschutzanlagen etc.).

### Prüfung

Die Prüfung eines Tunnelbauwerks umfasst gemäß den Ausführungen der *RVS 13.03.31* [70] die Beurteilung der baulich konstruktiven Tunnelteile inkl. den zugehörigen Anlagen und der augenscheinlichen Veränderungen des Geländes über dem Tunnel. Zusätzlich zur Erstprüfung eines Tunnelbauwerks vor Ablauf der Gewährleistungsfrist sieht die RVS-Richtlinie eine regelmäßige Prüfung in einem Abstand von maximal zwölf Jahren vor. Dieser Maximalabstand ist allerdings nur dann zulässig, wenn die Kontrollen sach- und termingerecht durchgeführt werden und sich daraus keine Einschränkungen der Benutzbarkeit ergeben. Aufgrund technischer Notwendigkeit können kürzere Prüffristen oder Sonderprüfungen für das gesamte Tunnelbauwerk oder einzelne Anlagenteile angeordnet werden.

Im Zuge der Prüfung sind die festgestellten Mängel augenscheinlich zu erfassen und in der Abwicklung der Tunnelleibung darzustellen. Wenn aufgefundene Risse als schädlich beurteilt werden, dann ist deren Rissbreite mittels Messungen zu dokumentieren. Bereiche, die der Tunnelprüfer als gefährdet einschätzt, sind mittels Abklopfens an einzelnen Stichproben näher zu untersuchen. Dies gibt Aufschluss bezüglich etwaiger Hohlstellen oder Kiesnestern. Bei der Tunnelprüfung sind insbesondere alle Tunnelgewölbe, Tunnelstrecken mit und ohne Auskleidung, Portale bzw. Einfahrtsbauwerke, Lüftungsschächte und -stollen, Fahrbahnen, erhöhte Seitenstreifen, Entwässerungsanlagen und das Gelände über dem Tunnel zu bewerten. Die nachfolgende Auszählung gibt einen beispielhaften Überblick über die zu untersuchenden Mängel und Schäden:

- Risse,
- Abplatzungen, Ausbrüche und klaffende Fugen,
- Feuchtstellen und Wasserzutritte,
- Schäden durch Pflanzenwuchs,
- Eisbildung sowie
- Veränderungen im Gelände oder dem oberirdischen Wasserlauf.

### 2.2.4 Zustandsbewertung

Die Zustände der einzelnen Anlagenteile und des Gesamtobjekts werden zufolge *RVS 13.03.11* [69] und *RVS 13.03.31* [70] anhand eines Notensystems von 1 – sehr gut bis 5 – schlecht bewertet (siehe Tab. 2.11). Die Bauteilbewertung bildet das bauteilspezifische Schadensausmaß ab und dient als Basis für die Ermittlung der Gesamtbewertung. Dabei ist zu berücksichtigen, ob die festgestellten Schäden ein tragendes oder nicht-tragendes Bauteil betreffen, weshalb Einzelschäden nicht automatisch zu einer schlechten Gesamtbewertung führen. Schäden und Mängel an tragenden Bauteilen haben einen wesentlich größeren Einfluss auf die Zustandsbewertung des Gesamtbauwerks. Diese spiegelt schließlich den globalen Zustand des Bauwerks bezüglich dessen Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit wider.

**Tab. 2.11:** Notensystem zur Bewertung des Erhaltungszustands (modifiziert nach *RVS 13.03.31* [70])

Note	Zustand	Beschreibung
1	sehr gut	Keine oder sehr geringe Schäden; Mängel aus der Bauzeit (z. B. Abweichungen der Abmessungen, ästhetische Mängel) Keine Einschränkung der Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit Keine Instandsetzungen erforderlich
2	gut	Geringe, leichte Schäden; Mängel aus der Bauherstellung, die noch keine Verschlechterung zeigen Keine Einschränkung der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit Bei Nichtbeheben erst längerfristig Verminderung der Gebrauchsfähigkeit bzw. Dauerhaftigkeit Behebung im Zuge von Wartungs- oder Instandsetzungsarbeiten empfohlen
3	ausreichend	Mittelschwere Schäden ohne Einschränkung der Tragfähigkeit Anzeichen einer Verminderung der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit Mittelfristige Instandsetzung zur Anhebung der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit auf das geplante Maß
4	mangelhaft	Schwere Schäden ohne derzeitige Einschränkung der Tragfähigkeit Verminderung der Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit deutlich erkennbar Kurzfristige Instandsetzung zur Anhebung der Gebrauchstauglichkeit bzw. Dauerhaftigkeit auf das geplante Maß und Verkürzung des Prüfungsintervalls anstelle von Instandsetzung innerhalb des ursprünglichen Prüfzeitraums
5	schlecht	Sehr schwere Schäden mit Einschränkungen der Tragfähigkeit und/oder Gebrauchstauglichkeit Unverzüglich Instandsetzungs-/Erneuerungsarbeiten einleiten

## 2.3 Zustandserfassung und -bewertung der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung

Die Regelungen zur Kontrolle und Prüfung der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung sowie Sicherheitseinrichtungen zur Aufrechterhaltung von Funktionsfähigkeit, Betriebsbereitschaft und Verkehrssicherheit sind in Österreich durch die FSV-Richtlinie *RVS 13.03.41* [71] festgelegt. Diese betreffen lediglich die betriebsbedingten Maßnahmen und keine Bestimmungen zu Maßnahmen nach besonderen Ereignissen, da diese vom Betreiber anhand der Schadensermittlung festzulegen sind. Für die anschließende Zustandsbewertung enthält diese Richtlinie zeitliche und inhaltliche Vorgaben für die Zustandserfassung sowie typische durchschnittliche Nutzungsdauern und Maßnahmen für die Instandhaltung auf Basis der Vorschläge der Permanent International Association of Road Congresses (PIARC) – World Road Association – in *Life Cycle Aspects of Electrical Road Tunnel Equipment* [45].

### 2.3.1 Zustandserfassung

Die *RVS 13.03.41* [71] unterscheidet bei der Zustandsermittlung grundsätzlich drei unterschiedliche Maßnahmen: laufende Überwachung, Kontrolle und Prüfung. Diese sollen die rechtzeitige Erfassung von Mängeln und Schäden ermöglichen, um mittels gezielter Maßnahmenplanung die Verkehrssicherheit aufrecht zu erhalten.

Bei der laufenden Überwachung erfolgt die regelmäßige Feststellung der Funktionsfähigkeit durch Kontrollfahrten vor Ort oder die automatische Überwachung in der Leitstelle, falls die elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung an die zentrale Leittechnik angeschlossen ist. Im Zuge von Kontrollfahrten werden visuelle Besichtigungen vom Fahrzeug aus durchgeführt. Dadurch ist die grundsätzliche Funktionsfähigkeit von beispielsweise Beleuchtungsanlagen, Verkehrsbeschilderungen und der freie Zugang zu Notausgängen sowie Fluchtwegen überprüfbar. Diese Art der Überwachung hat zumindest einmal wöchentlich zu erfolgen, kann jedoch auch mit anderen Kontrollfahrten zusammengelegt werden. Die Durchführung obliegt dabei einer unterwiesenen Person, welche die festgestellten Mängel, Schäden oder auffälligen Veränderungen dokumentiert und an den Erhaltungsbeauftragten übermitteln muss.

Für die Durchführung von Kontrollen und Prüfungen enthält die Richtlinie im Anhang eine Tabelle mit einzuhaltenden Zyklen je Gewerk. Von diesen Prüf- und Kontrollzyklen darf in begründeten Fällen abgewichen werden. Prinzipiell gilt jedoch, dass innerhalb der Gewährleistungsfrist die Vorgaben und Empfehlungen des Anlagenerrichters und Herstellers einzuhalten sind. Sowohl Kontrollen als auch Prüfungen sind anhand von vorgegebenen Abläufen vorzunehmen, deren Umfang und Ergebnis über Formblätter dokumentiert wird. Die Durchführung obliegt geschulten Fachkräften oder entsprechend unterwiesenen Personen. Neben den Ergebnissen zur Funktionsfähigkeit einzelner Gewerke und Anlagenteile ist auch ein gesamtheitlicher Systemcheck durchzuführen und zu bewerten. In weiterer Folge sind die Vorgaben für erforderliche Reinigungen oder außerordentlichen Wartungen zu dokumentieren, andernfalls sind die Wartungs- bzw. Kontroll- und Prüfintervalle gemäß Herstellerangaben weiter einzuhalten.

### 2.3.2 Zustandsbewertung

Die Zustandsbewertung wird für elektrotechnischen und maschinellen Anlagen innerhalb eines Tunnelbauwerks nach Gewerken getrennt vorgenommen. Dabei ergibt sich die Gesamtnote für jedes der 42 Gewerke laut *RVS 13.03.41* [71] aus drei Teilnoten. In den Gesamtwert des Gewerks  $i$  ( $GW_i$ ) fließen jeweils der aktuelle technische Anlagen-Istzustand ( $TAZ_i$ ), die Ersatz-

teilverfügbarkeit ( $EV_i$ ) und das Alter ( $ALT_i$ ) mit unterschiedlicher Gewichtung der Wichtigkeit ein:

$$GW_i = \frac{T AZ_i \cdot 3,0 + EV_i \cdot 2,0 + ALT_i \cdot 1,0}{6,0} \quad (2.32)$$

Die Bildung dieser Teilnoten wird im Anschluss näher erläutert. Durch Rundung des Gesamtwerts auf eine ganze Zahl ist die Einteilung entsprechend den Gesamtnoten der 5-teiligen Notenskala möglich (siehe Tab. 2.12). Diese fungiert als Maß für die Dringlichkeit von Erhaltungsmaßnahmen für das betreffende Gewerk. Bei einer Zustandsnote 1 – *Sehr guter Gesamtzustand* kann der geplante Wartungsplan fortgeführt werden. Im schlechtesten Zustand (Zustandsnote 5) sind Sofortmaßnahmen und ein Austausch der Anlagenteile erforderlich.

**Tab. 2.12:** Gesamtnote der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung im Tunnel (modifiziert nach *RVS 13.03.41* [71])

Zustandsnote	Beschreibung	Maßnahme
1	Sehr guter Gesamtzustand	Wartungszyklus beibehalten, keine außerplanmäßigen Maßnahmen erforderlich
2	Guter Gesamtzustand	Wartungszyklus beibehalten, Tätigkeiten bei Standardwartung ggf. geringfügig ausweiten, Vermerk (Bestnote nicht mehr erreicht)
3	Ausreichender Gesamtzustand	Verkürzung des Wartungsintervalls prüfen, intensivierte Wartungsleistung, vormerken für mittelfristige Revitalisierung oder Austausch
4	Mangelhafter Gesamtzustand	Verkürzung des Wartungsintervalls notwendig, intensivierte Wartungsleistung, vormerken für kurzfristige Revitalisierung oder Austausch
5	Schlechter Gesamtzustand	Sofortmaßnahmen zur Herstellung der Betriebssicherheit, kurzfristiger Austausch notwendig

### Teilnote technischer Anlagen-Istzustand

Die Bewertung des technischen Anlagen-Istzustands ( $T AZ_i$ ) erfolgt durch eine ingenieurmäßige Einschätzung des Prüfers im Zuge einer Kontrolle oder Prüfung. Dabei hat die Zuteilung der Teilnote anhand der Beschreibungen in Tab. 2.13 zu erfolgen und ist im Prüfprotokoll zu vermerken. Die Beurteilung erfolgt für jedes der 42 Standardgewerke getrennt.

### Teilnote Ersatzteilverfügbarkeit

Die Teilnote der Ersatzteilverfügbarkeit ( $EV_i$ ) basiert auf Informationen der Anlagenhersteller bzw. Lieferanten bezüglich der Lagerbestände oder auf Grundlage der betriebseigenen Bestände in etwaigen Ersatzteillagern. Die Beurteilung erfolgt dabei durch Zuordnung der Teilnote entsprechend den drei Kategorien in Tab. 2.14.

### Teilnote Alter

Zur Bewertung des Alters ( $ALT_i$ ) von elektrotechnischen und maschinellen Anlagen in Tunneln wird die durchschnittliche Brauchbarkeitsdauer bzw. Nutzungsdauer ( $ND$  [Jahr]) herangezogen. Anhand des aktuellen Alters der zu bewertenden Anlage und der Kategorisierung der Lebensdauer entsprechend der Vorgaben der *RVS 13.03.41* [71] (siehe Tab. 2.15) ist dem Gewerk eine Teilnote zuzuordnen. Dabei ist zu beachten, dass bei der Bewertung das jüngste Herstellungsdatum

**Tab. 2.13:** Teilnote technischer Anlagen-Istzustand ( $TAZ_i$ ) (modifiziert nach *RVS 13.03.41* [71])

$TAZ_i$	Kurzbezeichnung	Beschreibung
1	Sehr guter techn. Zustand	Funktionsfähigkeit gegeben; aufgrund der Beurteilung (optisch, funktional) keine Einschränkung ableitbar
2	Guter techn. Zustand	Funktionsfähigkeit gegeben; vereinzelt leichte Abweichungen zum Ursprungszustand ohne Einschränkungen (z. B. Flugrost)
3	Ausreichender techn. Zustand	Funktionsfähigkeit gegeben; Abweichungen zum Ursprungszustand mit Einschränkungen in absehbarer Zeit (z. B. Lochfraß, mechanische Lockerung etc.)
4	Mangelhafter techn. Zustand	Funktionsfähigkeit zum Zeitpunkt der Beurteilung gegeben, kurzfristiger Ausfall zu erwarten (z. B. Durchrosten konstruktiver Teile, permanent eindringende Feuchtigkeit etc.)
5	Schlechter techn. Zustand	Funktionsfähigkeit nicht mehr gegeben oder massive Einschränkungen zum Zeitpunkt der Beurteilung

**Tab. 2.14:** Teilnote Ersatzteilverfügbarkeit ( $EV_i$ ) (modifiziert nach *RVS 13.03.41* [71])

$EV_i$	Beschreibung
1	Ersatzteile beim Hersteller verfügbar
3	Nur Ersatzteilerestposten beim Hersteller, Lieferanten oder im betriebseigenen Lager vorhanden
5	Keine Ersatzteile mehr verfügbar

herangezogen wird. Dies kann entweder die Erstinbetriebnahme oder das Datum der letzten Sanierung bzw. Instandsetzung sein. Für die durchschnittliche Nutzungsdauer bietet die Richtlinie die Möglichkeit, einerseits Herstellerangaben zu verwenden und andererseits die typischen Nutzungsdauern laut Tab. 2.16 heranzuziehen. Die dort empfohlenen durchschnittlichen Nutzungsdauern wurden im Zuge der Erstellung der *RVS 13.03.41* auf Grundlage der internationalen PIARC-Studie an die österreichischen Erfahrungen angepasst.

**Tab. 2.15:** Teilnote Alter ( $ALT_i$ ) (modifiziert nach *RVS 13.03.41* [71])

$ALT_i$	Beschreibung
1	$Alter < 25 \% \cdot ND$
2	$25 \% \cdot ND \leq Alter \leq 50 \% \cdot ND$
3	$50 \% \cdot ND < Alter \leq 75 \% \cdot ND$
4	$75 \% \cdot ND < Alter \leq 100 \% \cdot ND$
5	$Alter > 100 \% \cdot ND$

**Tab. 2.16:** Durchschnittliche Nutzungsdauer von E&M-Ausrüstung im Tunnel (modifiziert nach RVS 13.03.41 [71, 10 f.]

Gewerkegruppe Betriebs- und Sicherheitseinrichtung	Gewerk	Ø Nutzungs- dauer <i>ND</i> [Jahre]
Energieversorgung	Mittelspannungsanlage	25
	Niederspannungsanlage	25
	SSV Anlage	15
	Notstromaggregate	25
	Blitzschutzanlagen	25
	Erdung und Potentialausgleich	25
Belüftungsanlagen	Mechanische Anlagenteile Axialventilatoren	30
	Mechanische Anlagenteile Strahlventilatoren	20
	Elektromechanische Anlagenteile Axialventilatoren	20
	Elektromechanische Anlagenteile Strahlventilatoren	20
	Regelung, Steuerung	15
	Gebäudebelüftung, Klimaanlage	15
Beleuchtung	Einfahrtsbeleuchtung	20
	Innenstreckenbeleuchtung	20
	Beleuchtung Querschläge/Fluchtwege	20
	Fluchtweghinweis/-orientierungsleuchten	10
	Regelung, Messwerterfassung	15
Messeinrichtung	CO-Messung	15
	Trübungsmessung	15
	Längsgeschwindigkeitsmessung	15
Überwachung/Lenkung Verkehr	Straßenverkehrszeichen	10
	Verkehrszählung	10
	Videoanlagen	10
	Verkehrslichtsignalanlagen	10
	Höhenkontrolle	10
	Verkehrsleit- und Infoeinrichtung	15
Notruf	Notruf	15
Telefonanlage (Festnetz)	Telefonanlagen (Festnetz)	20
Funkanlage	Funkanlage	15
Beschallungsanlage	Beschallungsanlage	20
Brandmelde-/-be- kämpfungsanlagen	Brandmeldeanlage Kabel (Linienbrandmeldekabel Fahrraum)	20
	Brandmeldeanlage Steuerung	10
	Löscheinrichtungen	20
	Löschwasserversorgung	20
	Lösch- und Bindemittelvorrat	20

Fortsetzung auf der nächsten Seite

**Tab. 2.16:** Durchschnittliche Nutzungsdauer von E&M-Ausrüstung im Tunnel (Fortsetzung)

Gewerkegruppe Betriebs- und Sicherheitseinrichtung	Gewerk	Ø Nutzungs- dauer <i>ND</i> [Jahre]
	Automatisierung	15
Tunnelsteuerung	Prozessvisualisierung	10
	Archivierung/Datenauswertung	10
Gewässerschutzanlagen	Gewässerschutzanlagen	20
Schachtbefahrung	Schachtbefahrung	30
Türen, Tore, Verkleidungen	Türen, Tore, Verkleidungen	20
Kräne und Hebezeuge	Kräne und Hebezeuge	30

## 2.4 Datenmanagementsysteme

Die Richtlinien des FSV enthalten aufgrund des großen Anlagevermögens und der Erhaltungsverpflichtung eine eigene RVS-Serie – *RVS 13.04 Bauwerksdatenbank* – zur einheitlichen Einführung und Verwendung einer Datenbank im Sinne eines Datenmanagementsystems. Hierfür regelt die *RVS 13.04.01 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Allgemeiner Teil* [72] die generellen Anforderungen bezüglich Aufgaben und Aufbau einer EDV-gestützten Bauwerksdatenbank für das höherrangige Straßennetz. Grundsätzlich stellen diese Vorgaben nur die Mindeststandards dar, weshalb eine Erweiterung der angeführten Datenfelder durch den Erhaltungsverpflichteten natürlich möglich ist. Dabei ist darauf zu achten, dass der Austausch der Daten über geeignete Datenbankschnittstellen zu ermöglichen ist, um Daten von übergeordnetem Interesse an die entsprechenden Beteiligten weitergeben zu können – beispielsweise an das im Juli 2022 in Österreich zuständige Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK). Zudem muss der Austausch zwischen unterschiedlichen Software-Produkten möglich sein, da die Richtlinie keine Vorgaben betreffend einer zu verwendenden Anwendung enthält. Bei der Auswahl soll jedoch auf möglichst geringe Speicherressourcen und Hardwareanforderungen sowie eine einfache und rasche Durchführung von regelmäßigen Sicherungen geachtet werden.

Den Aufbau eines Datenmanagementsystems betreffend sieht die *RVS 13.04.01* [72] vor, dass verwaltungstechnische und bauliche Angaben inkl. Zustandsbewertungen strukturiert zu erfassen und zu speichern sind. Zusätzlich soll die Möglichkeit bestehen, ergänzende Dokumente (Pläne, Fotos, Bescheide etc.) ablegen zu können. Mit Hilfe von definierten Standardabfragen, wie beispielsweise dem Bauwerksbuch zur gesammelten Ausgabe aller baulichen und verwaltungstechnischen Informationen je Objekt, gibt die RVS eine rasche Option für vergleichbare Berichte und Auswertungen vor. Die Datenbanksysteme müssen zusätzlich die Möglichkeit von frei definierbaren Abfragen bieten.

Zur besseren Strukturierbarkeit der Bauwerksdatenbank sieht die Richtlinie die Einteilung von Objekten entsprechend ihrer Klasse vor. Dementsprechend muss jedes in der Datenbank erfasste Objekt aus einem Objektdatensatz bestehen, dass laut *RVS 13.04.01* einer der folgenden Klassen zugeordnet werden kann [72, S. 3 f.]:

- Brückenbauwerk,

- Wannenbauwerk,
- Mauern und geankerte Konstruktionen,
- Galerien und Tunnel in offener Bauweise,
- Straßentunnel in geschlossener Bauweise,
- Wegweiserbrücken,
- Lärmschutzwände und -dämme,
- Schutzbauten sowie
- Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen.

Für diese Klassen enthält die RVS-Serie 13.04 zusätzlich eigene Richtlinien, welche die objekt-spezifischen Anforderungen näher definieren. Dabei definiert beispielsweise die *RVS 13.04.11* [73] Regelungen zu Brückenbauwerken und die *RVS 13.04.22* [75] für bauliche Anlagenteile in Straßentunneln. Bis zum 31.12.2020 umfasste die Serie zudem eine Richtlinie für die Bauwerksdatenbank der betriebs- und sicherheitstechnischen Einrichtungen in Straßentunneln (*RVS 13.04.23* [76]), welche jedoch laut FSV-Webseite [33] außer Kraft gesetzt und nicht mehr neuerlich veröffentlicht wurde. Alle auf diese Weise definierten Objekte müssen in weiterer Folge aus einem oder mehreren Bauteilen bestehen, um eine bauteilbezogene Bewertung abbilden zu können und eine Auswahlmöglichkeit auf dieser Ebene zu ermöglichen. Übergeordnet muss die Datenbank eine Zusammenfassung mehrerer Objekte zu Objektgruppen vorsehen, welche in fortlaufenden Listen zu dokumentieren sind. Auf diese Weise ist sowohl eine ebene als auch eine hierarchische Struktur abbildbar.

Für eine optimale Nutzung eines Datenmanagementsystems ist zunächst die Beschreibung bzw. Definition des zu erfassenden Verkehrsnetzes erforderlich. Hierbei spielt eine klare und eindeutige Zuordnung von Eigenschaften zu einem bestimmten Straßenabschnitt eine wichtige Rolle. In diesem Sinne wurde für das österreichische Autobahnen- und Schnellstraßennetz von der ASFINAG die Verwendung des Straßenschlüssels eingeführt. Entsprechend den Ausführungen von Weninger-Vycudil et al. [94] besteht dieser aus Straßenkategorie (A, S, B, L, LB etc.), Straßenummer (4-stellig), Zusatzzeichen (z. B. Ast, Kollektor) und Angabe der Richtungsfahrbahn (R – rechts, in Richtung der Kilometrierung; L – links, entgegen der Kilometrierung). Zusätzlich beschreibt die Stationierung über die Kilometrierung entlang einer Verkehrslinie die Position bis auf drei Nachkommastellen genau (z. B. 0,000 km). Die Verknüpfung von Bauwerken mit dem Straßennetz erfolgt über die Station auf der Verkehrslinie des Objekts. Da es möglich ist, dass mehrere Verkehrslinien zu einem Objekt gehören, ist eine Regelung über die Zuordnung zu treffen. Im Regelfall erfolgt die Zuordnung zur höchstrangigen Verkehrslinie. Wird ein Bauwerk mit einer Stationierung angegeben, so bezieht sich diese auf den Mittelpunkt des Objekts. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, Start- und Endpunkt zu definieren.

Allgemein ist aus den Bestimmungen der RVS-Serie 13.04 zu erkennen, dass es in den EDV-gestützten Datenbanksystemen zumindest folgende Datenfelder für die unterschiedlichen Auswertungen und Funktionen geben soll, wobei die angeführte Aufzählung lediglich einen Überblick gibt und keinen Anspruch auf Vollständigkeit stellt:

- Allgemeine Daten
  - Baujahr
  - Statisches System inkl. konstruktiver Ausbildung

- Normbezeichnung und Ausgabejahr
- Bauwerksklasse (Brückenklasse, Gefährdungsklasse Tunnel etc.)
- Lastbeschränkung
- Abgaben zum baulichen Brandschutz
- Art der Verkehrsführung (Gegenverkehr oder Richtungsverkehr)
- Lastangaben für Sondertransporte
- Unterlagen zur Statik, Geotechnik, Ingenieurgeologie,...
- Bestandsplan
- Angabe zu Verkehrslinien
- Breitenband (Hauptelemente, Detailelemente und Nutzungstreifen)
- Einbauten (Leitungen, Kabel etc.)
- Bauteildaten
  - Konstruktionsart des Objekts
  - Konstruktionsdaten zu den einzelnen Bauteilen (z. B. Abmessungen, Neigungen, Material, Bauart)
- Prüfung und Kontrolle
  - Einsatzplanung (Prüfausrüstung, Bewilligungen etc.)
  - Art der Überprüfung
  - Prüfer
  - Datum
  - Zustandsbewertung Gesamtobjekt
  - Jahr der nächsten Überprüfung
  - Sonderprüfungen
  - Zustandsbewertung der einzelnen Bauteile
  - Einschätzung der Funktionsfähigkeit und Belastbarkeit
  - Maßnahmenempfehlungen
  - Besondere Prüfanweisungen für die Kontrolle
- Verwaltung von baulichen Maßnahmen
  - Datum der Maßnahme
  - Ausführende Firma
  - Kosten
  - Datum des Gewährleistungsendes
  - Planer
  - Kosten und Maßnahmenart je Bauteil

In Österreich obliegt die Datenerfassung und -verwaltung für das höherrangige Straßennetz der ASFINAG, welche für die unterschiedlichen Anlagenarten mehrere Datenmanagementsysteme aufgebaut hat. Diese wurden als Grundlage für die Entwicklung eines technischen Anlagenwerts im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* einer genaueren Analyse unterzogen. Gemäß den Ausführungen im *Deliverable 2.1* [87] erfolgte für die Auswertung zunächst eine Kategorisierung der Daten. Dies ermöglicht eine systematische Beurteilung der Daten, insbesondere für den Vergleich mit den anderen DACH-Ländern. Für einen Überblick über die Inhalte der unterschiedlichen Datenmanagementsysteme sind in erster Linie folgende Kategorien von Interesse:

- Netzdaten: Beschreibung der Lage der Anlage innerhalb des Verkehrswegenetzes,
- Inventardaten: Beschreibung der baulichen Struktur bzw. Zugehörigkeit zu Gewerken, Materialdaten, Systemdaten des Objekts und eventuelle Zuordnung zu normativen Vorgaben sowie
- Zustandsdaten: Daten aus laufender oder periodischer Zustandserfassung zur Beurteilung des vergangenen und aktuellen Zustands.

Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben kurz den derzeitigen Stand der unterschiedlichen Datenmanagementsysteme innerhalb des höherrangigen Straßennetzes in Österreich. Sie enthalten eine Beschreibung der wesentlichen Inhalte in Bezug auf die Ermittlung des technischen Anlagenwerts.

### 2.4.1 Straßenoberbau

In Österreich werden die wesentlichen Daten des Straßenoberbaus seit den 1990er-Jahren systematisch in der Pavement Management Software VIAPMS™ [46] erfasst. Die dort enthaltenen Datensätze wurden im Zuge des Aufbaus eines umfassenden PMS der ASFINAG in ein gesamtweitliches Infrastructure Management Tool (IMT) integriert. Dieses wurde 2021 überarbeitet und bildet seither als IMT2 alle Assetdaten außer den Tunnelanlagen (bauliche sowie elektrotechnische und maschinelle Anlagenteile) ab. Das System ermöglicht somit die Umsetzung der Anforderungen aus der *RVS 13.04.01* [72] und die Ermittlung von erhaltungsspezifischen Kennzahlen bzw. Kennwerten, Straßenzustandsbewertungen und Lebenszyklusanalysen unter Berücksichtigung von Budgetszenarien. Eine detaillierte Erläuterung des österreichischen PMS kann bei [92, 94] nachgelesen werden. Entsprechend der Kategorisierung für die Analyse der Datenbank im Zuge des *TAniA*-Projekts stellt diese die nachfolgenden Daten zur Verfügung:

#### Netzdaten

Die Oberbaudaten werden in der Datenbank über die Achsen der Richtungsfahrbahnen unter Berücksichtigung der Kilometrierung mit dem Verkehrsnetz verknüpft. In manchen Fällen erfolgt die genauere Zuordnung auf die einzelnen Fahrstreifen der Fahrbahn bezogen. Diese Systematik ist zusätzlich auf die Rampen der Auf- und Abfahrten anwendbar.

#### Inventardaten

Die IMT-Datenbank enthält mit den Inventardaten die zusätzlichen Informationen bezüglich des Straßenquerschnitts. Sie enthält neben den aktuellen Oberbaudaten auch die historischen Aufbauten für jeden einzelnen Fahrstreifen. Dies umfasst neben der Abbildung des Breitenbands (Anzahl und Breite der einzelnen Fahrstreifen bzw. Querschnittelemente) auch die Schichtarten, Schichtstärken, Material und Herstellungsjahr.

### Zustandsdaten

Die Zustandsdaten des Straßenoberbaus werden in Abhängigkeit der Erfassungsart gespeichert. In der Regel erfolgt die Zustandserfassung in Abschnitten mit jeweils 50 m für jeden Fahrstreifen getrennt. Dabei enthält die Datenbank sowohl die aktuellen als auch die historischen Daten aus den periodisch messtechnischen und visuellen Zustandserfassungen. Zusätzlich sind hierbei die in der *RVS 13.01.15* [65] und *RVS 13.01.16* [67] vorgeschriebenen Abnahmeprüfungen und Prüfungen vor Ende der Gewährleistungsfrist dokumentiert. Bei Straßenabschnitten mit lärmindernden Deckschichten sind außerdem die Lärmdaten aus den erforderlichen Lärmmessungen abgespeichert.

### 2.4.2 Brückenbauwerke

Die Anforderungen an eine EDV-gestützte Bauwerksdatenbank für Brückenbauwerke des höherrangigen Straßennetzes regelt die *RVS 13.04.11* [73]. Dabei ist die Definition eines Brückentragwerks unabhängig von der lichten Weite zu sehen, wodurch diese Richtlinie auch auf Grünbrücken, Hangbrücken und überschüttete Konstruktionen anzuwenden ist. Seit den 1990er-Jahren erfasst und verwaltet die ASFINAG Brückendaten systematisch mit der Datenbank BAUT. Diese wurde 2018 im Sinne eines gesamtheitlichen IMT durch die Datenbank IMT-Bridges (dTIMS-Datenbank der Firma Deighton [20]) ersetzt und schließlich 2021 in die IMT2-Datenbank übertragen. Dieses stellt somit den aktuellen Stand dar. Zusätzlich zu den Informationen, die von der *RVS 13.04.01* [72] gefordert werden, sieht die *RVS 13.04.11* [73] erforderliche Attribute im Bereich der Netzdaten, Inventardaten der Bauteile, Zustandsdaten aus Prüfungen und Kontrollen sowie zu baulichen Maßnahmen vor. Bezugnehmend auf die Kategorisierung für die Grundlagenanalyse im Forschungsprojekt *TAniA* beinhaltet die Bauwerksdatenbank folgende Informationen:

#### Netzdaten

Für die Verknüpfung zum Verkehrswegenetz stellt das Objekt das Basiselement dar. Durch lineare Referenzierung mit der IMT-Datenbank des Straßenoberbaus ist eine Verschneidung der Zentralachse bzw. Richtungsfahrbahnachse mit der Betriebskilometrierung möglich. Zusätzlich sind die Brückenobjekte als geometrische Elemente im österreichischen Geoinformationssystem (GIS) enthalten. Mit Hilfe von Ebenen ist jedem Objekt eine klare Zugehörigkeit betreffend der Höhe gegeben. Liegt ein Brückenobjekt auf Ebene 0, dann liegt es auf Ebene der Straßenachse der Zentralachse der Autobahn.

#### Inventardaten

Entsprechend den Anforderungen der RVS-Richtlinie enthält die Bauwerksdatenbank für Brücken der ASFINAG die Systemdaten bezüglich des Querschnitts (Breitenband). Des Weiteren sind eigene Untertabellen für die unterschiedlichen Bauteile entsprechend der Konstruktionsart angelegt. Diese enthalten die Konstruktionsdaten getrennt nach Bauteilen, wie beispielsweise Lager, Unterbau, Überbau etc.

#### Zustandsdaten

Die Zustandsdaten sind den Vorgaben der *RVS 13.04.11* folgend sowohl als Gesamtnote für das Brückenobjekt als auch als Zustandsnote je Bauteil erfasst und abgelegt. Dabei sind alle aktuellen und historischen Kontrollen und Prüfungen sowie Abnahmeprüfungen entsprechend dem Datum der Durchführung enthalten.

### 2.4.3 Bauliche Anlagenteile im Tunnel

Für eine EDV-gestützte Bauwerksdatenbank der baulichen Anlagenteile von Straßentunneln enthält die *RVS 13.04.22* [75] die wesentlichen Mindestanforderungen. Diese besitzt für die Verwaltung aller Straßentunnel in geschlossener Bauweise im höherrangigen Verkehrswegenetz

Gültigkeit, unabhängig von der Länge des Bauwerks. Die Erfassung und Verwaltung der Daten erfolgte in Österreich lange Zeit ausschließlich über Listen, Karteikarten und Bauakte. Erst in den 1990er-Jahren begann die ASFINAG mit der systematischen Speicherung von Tunneldaten in einer Bauwerksdatenbank (BAUT). Dabei wurden zunächst in erster Linie die Grunddaten zu den Objekten erfasst, wie das Baujahr, die Tunnellänge, das Material und die Bauweise. Die systematische Speicherung von Zustandsnoten für das Gesamtbauwerk hat laut der Analysen im Forschungsprojekt „Optimierte Instandsetzungsplanung der tunnelspezifischen baulichen und elektromaschinellen Ausrüstung mittels LCA (OPTimAL)“ [82] in den letzten 15–20 Jahren ihren Ursprung. Zudem werden in den letzten Jahren zunehmend die Bauteilnoten der einzelnen Anlagenteile erfasst und gespeichert. Seit Ende 2022 wurden zudem die Daten der baulichen Tunnelanlagen in das gesamtheitliche IMT2 integriert.

Zusätzlich zu den allgemeinen Informationen des Straßennetzes in der Bauwerksdatenbank sieht die *RVS 13.04.22* [75] erforderliche Attribute im Bereich der Netzdaten, Inventardaten der Bauteile, Zustandsdaten aus Prüfungen und Kontrollen sowie zu baulichen Maßnahmen vor. Diese Anforderungen werden von der Bauwerksdatenbank der ASFINAG mit unterschiedlicher Qualität erfüllt. Einen Überblick über die Analyse der vorhandenen Daten hinsichtlich der Ermittlung des technischen Anlagenwerts bieten die anschließenden Abschnitte.

### Netzdaten

Das Grundelement in der BAUT-Datenbank stellt das Tunnelbauwerk dar. Dieses ist zur Lokalisierung im Verkehrswegenetz mit der Straßenachse und Kilometrierung lagemäßig verknüpft. Im Gegensatz zu den Brückenobjekten enthält die Tunnel-Datenbank keine Informationen über unterschiedliche Ebenen für die Zuordnung bei sich kreuzenden Straßenzügen. Zudem sind keinerlei näheren Angaben zur Zugehörigkeit von Richtungsfahrbahnen vorhanden.

### Inventardaten

Einen wesentlichen Bestandteil der Erfassung bildet laut *RVS 13.04.22* [75] die Auswahl der Konstruktionsart (Straßentunnel, Flucht-, Rettungswege, Zugänge, Schacht oder sonstige bauliche Einrichtungen), welche Auswirkungen auf die möglichen Bauteile hat. Im Allgemeinen liegen die Grunddaten des Objekts vor, wie beispielsweise Baujahr, Tunnellänge, Material und Bauweise. Die von der RVS angeführten Informationen bezüglich den einzelnen Bauteilen sind jedoch in der Datenbank nicht immer gänzlich befüllt.

### Zustandsdaten

Die BAUT-Datenbank beinhaltet in den meisten Fällen zumindest die Gesamtnote der baulichen Tunnelanlagen, welche entsprechend *RVS 13.03.31* [70] ermittelt wurden. Leider sind jedoch nicht gänzlich alle Tunnelbauwerke mit Zustandsnoten erfasst. Auf Ebene der Bauteile ist festzuhalten, dass zumeist Teilnoten für die Bauteile Tunnelröhre, Fahrbahnbelag (auch über PMS erfasst), erhöhter Seitenstreifen und Abdichtung enthalten sind. Etwa 90 % der erfassten Zustandsnoten stammen aus den Prüfungen und Kontrollen der letzten 15–20 Jahren, wodurch nur wenige historische Daten für die Beurteilung von Zustandsverläufen zur Verfügung stehen.

## 2.4.4 Elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung im Tunnel

Die grundlegende Richtlinie des FSV für die Anforderungen an eine EDV-gestützte Bauwerksdatenbank für die Verwaltung der betriebs- und sicherheitstechnischen Einrichtungen in Straßentunneln stellt die *RVS 13.04.23* [76] dar. Diese wurde allerdings gemäß FSV-Webseite [33] seit 01.01.2021 außer Kraft gesetzt und bisher durch keine neue Fassung ersetzt.

Aus dem Endbericht des Forschungsprojekts *OPTimAL* [82] geht hervor, dass die Daten der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung in Straßentunneln seit mehreren Jahren

in eigenen Excel-Listen geführt wurden – oftmals getrennt nach Tunnelröhren. Im Zuge des Forschungsprojekts erfolgte eine Zusammenführung und Verschneidung der Daten mit jenen der Bauwerksdatenbank für bauliche Tunnelanlagen mittels einer SQL-Datenbank (dTIMS-Datenbank der Firma Deighton [20]). Abb. 2.2 zeigt einen Ausschnitt aus der erstellten Datenbank im Zuge des *OPTimal*-Projekts. Dabei ist im mittleren Bereich die historische Auflistung der durchgeführten Zustandsbewertungen mehrerer Tunnelobjekte zu erkennen und rechts die Detailansicht mit den Teilzustandsbewertungen einer Prüfung inkl. der Gewerkezuteilung. Für die Analyse der Datengrundlagen zur Berechnung des technischen Anlagenwerts wurden die ursprünglichen Excel-Listen und die Datenbank des *OPTimal*-Projekts herangezogen. Die Beurteilung der darin enthaltenen Daten entsprechend der vorgenommenen Kategorisierung ist nachfolgend zusammengefasst.

The screenshot shows the dTIMS 9.5 For Windows (64 Bit Edition) interface. The main window displays a table of tunnel objects with columns for RoadName, From, To, From\_Description, To\_Description, Name, Length, I, ALT, EV, and LGW. The table lists various tunnel sections with their respective IDs and coordinates. On the right side, there is a detailed view for a specific object (TEM\_Zustand) showing its location, road name, and other attributes.

**Abb. 2.2:** Ausschnitt aus der Datenbank für elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung in Tunneln im Zuge des Forschungsprojekt *OPTimal* (Quelle: Stefan et al. [82, S. 81])

### Netzdaten

Die Excel-Tabellen enthalten eine Referenzierung zum Straßennetz über die Betriebskilometrierung, welche nur rudimentär mit den GIS-Daten aktualisiert wird. Das Basisobjekt bildet dabei die einzelne Tunnelröhre, welches die Grundinformationen in den sogenannten „Stammdaten“ festhält.

### Inventardaten

Die näheren Informationen zu den vorhandenen Anlagenteilen definiert die Datenbank über die einzelnen Gewerke entsprechend der Einteilung der *RVS 13.03.41* [71]. Insgesamt sieht die Richtlinie 42 Gewerke vor, welche in 15 Gewerkegruppen zusammengefasst werden können. Die entsprechende Auflistung kann Tab. 2.16 in Abschnitt 2.3 (Seite 45) dieser Arbeit entnommen werden.

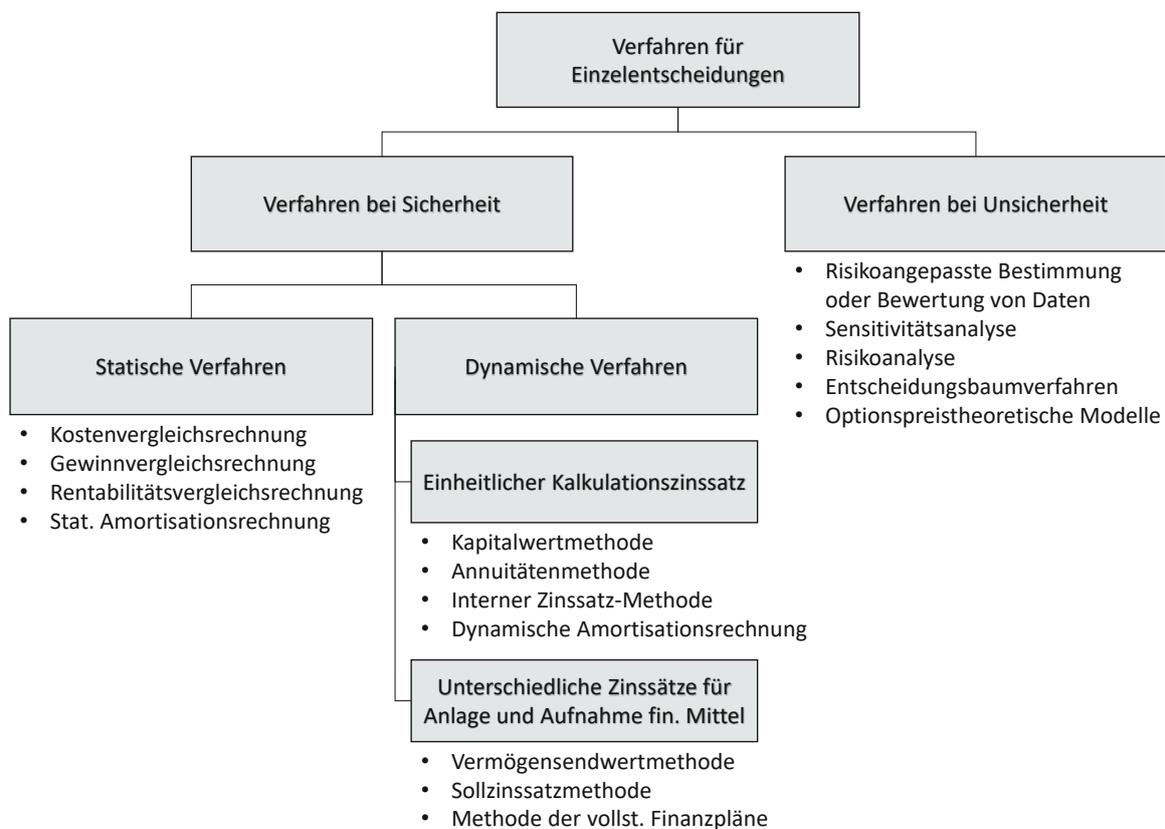
### Zustandsdaten

Gemäß den Vorgaben der *RVS 13.03.41* [71] erfolgt die Zustandsermittlung für jedes Gewerk einzeln. Dementsprechend enthalten die Excel-Tabellen die Angaben über die Zustandsdaten als

Gesamtwert und Teilwerte des technischen Anlagen-Istzustands, Altersindex und Ersatzteilverfügbarkeit.

## 2.5 Grundlagen der Finanzmathematik

Das Ziel, den technischen Anlagenwert als zusätzliche Entscheidungsgröße für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen heranzuziehen, kommt einer Kostenoptimierung bei Lebenszykluskostenanalysen nahe. Daher spielt auch hier die Anwendung der Investitionsrechnung der Finanzmathematik eine wesentliche Rolle. Ziel für die Vergleichbarkeit von verschiedenen Erhaltungsstrategien ist die Bewertung der Investitionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten bezogen auf einen Betrachtungs- bzw. Bewertungszeitpunkt. Hierfür gibt es unterschiedliche Verfahrensmodelle, die mittels Vereinfachungen versuchen die Realität abzubilden. Entsprechend den Ausführungen von Götze und Bloech [34] ist zunächst zu unterscheiden ob es sich um Einzelentscheidungen oder Programmentscheidungen handelt. Diese können jeweils weiter in Verfahren mit Nutzentheorien unter Sicherheit oder Unsicherheit getrennt werden (siehe Abb. 2.3). Dabei ist unter Sicherheit zu verstehen, dass die Entscheidung auf Basis von bekannten, deterministischen Prognosen ohne Fehlern und Risiken getroffen wird. In diesem Bereich findet sich auch die Kapitalwertmethode wieder, welche als dynamisches Rechenmodell den Vergleich von Investitionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten ermöglicht. Dieses Modell ist sowohl in internationalen Normen, wie beispielsweise in der *ISO 15686-5 ISO 15686-5:2017 07 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing* [38], als auch in nationalen Richtlinien zu finden, wie der *RVS 13.05.11* [77] und *RVS 13.05.21* [78].



**Abb. 2.3:** Übersicht der möglichen Verfahren der Investitionsrechnung für Einzelentscheidungen nach Götze und Bloech [34]

Das Grundwesen der Kapitalwertmethode stellt die Auf- bzw. Abzinsung von Ein- und Auszahlungen auf den jeweiligen Betrachtungszeitpunkt  $t_{\text{Betr}}$  dar um eine Vergleichbarkeit zwischen Investitionsplänen zu erhalten (siehe Abb. 2.4). Dementsprechend sind für zukünftige Zahlungen Abzinsungen (Diskontierung) erforderlich, welche in der Finanzmathematik laut Kruschwitz [39, 40] der Berechnung des Barwerts ( $K^{\text{bar}}$  [€]) mittels Zinseszinsrechnung entsprechen. Dabei ist jeweils zwischen einmaligen und jährlich gleichbleibenden Zahlungen (z. B. für laufende Instandhaltungen) zu unterscheiden. Ist der Investitionsbedarf zu einem bestimmten Zeitpunkt bekannt, so kann dieser auch als Endwert ( $K^{\text{end}}$  [€]) nach der Laufzeit ( $n$  [Jahre]) betrachtet werden. Somit ergibt sich der Barwert für einmalige Zahlungen entsprechend der Finanzmathematik durch:

$$K^{\text{bar}} = K^{\text{end}} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (2.33)$$

Dabei setzt sich der Abzinsungsfaktor ( $q$ ) aus einem gleichbleibenden Zinssatz ( $z$  [%]) und einer etwaigen Inflationsrate ( $\pi$  [%]) wie folgt zusammen:

$$q = 1 + \frac{z}{100} - \frac{\pi}{100} \quad (2.34)$$

Laut den Ausführungen der *RVS 13.05.11* [77] und §1000 ABGB kann mit einem Zinssatz von 4% gerechnet werden. Die Inflationsrate wird bei der Anwendung des Kapitalwertmodells für Lebenszyklusanalysen nicht gesondert betrachtet. Für jährlich gleichbleibende Zahlungen ( $K_j$  [€]) können die Formeln der nachschüssigen Rentenrechnung gemäß Kruschwitz [39] herangezogen werden, wodurch sich der Barwert folgendermaßen ergibt:

$$K^{\text{bar}} = K_j \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (2.35)$$

Im Gegensatz zur Betrachtung der Zahlungen am Anfang der Betrachtungsperiode können auch bereits getätigte Zahlungen durch die Kapitalwertmethode vergleichbar gemacht werden. Hierfür ist die Ermittlung des Endwerts ( $K^{\text{end}}$  [€]) über die Aufzinsung des Barwerts ( $K^{\text{bar}}$  [€]) heranzuziehen. Bei einmaligen Zahlungen am Beginn einer vergangenen Laufzeit ( $m$  [Jahre]) ergibt sich dieser durch:

$$K^{\text{end}} = K^{\text{bar}} \cdot q^m \quad (2.36)$$

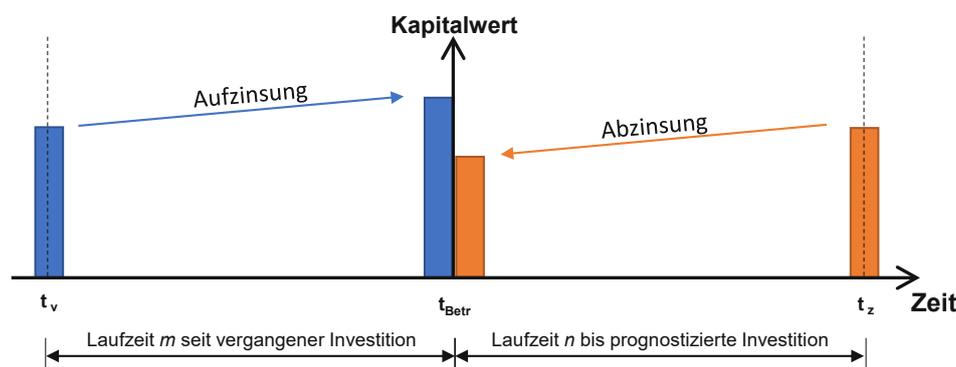


Abb. 2.4: Übersicht der möglichen Verfahren der Investitionsrechnung für Einzelentscheidungen

Durch die Umformung von Gleichung (2.35) lässt sich auch der Endwert ( $K^{\text{end}}$  [€]) von jährlich gleichbleibenden Zahlungen wie folgt berechnen:

$$K^{\text{end}} = K_j \cdot \frac{q^m - 1}{q - 1} \quad (2.37)$$

Grundsätzlich ist anzumerken, dass es sich bei der gesamten Kapitalwertmethode im Sinne der technischen Anlagenbewertung um die Betrachtung von netto Werten handelt. Kurschwitz beschreibt den Kapitalwert deshalb auch als Nettobarwert oder Nettogegenwartswert (englisch: net present value). Des Weiteren ist an dieser Stelle hervorzuheben, dass es bei der Ermittlung eines technischen Anlagenwerts sowohl unterschiedlich hohe Einzelinvestitionen als auch laufende Instandhaltungen geben wird. Hierfür kann die Summe der bereits vorgestellten Formeln für den End- bzw. Barwert unter Beachtung der Investitionszeitpunkte gebildet werden.

## 2.6 Zusammenfassung der Grundlagen für einen technischen Anlagenwert im Asset Management

Dieses Kapitel zeigte in einem ersten Schritt die wesentlichen Regelungen zur Erfassung und Bewertung von Zustandsdaten der österreichischen Straßeninfrastruktur. Anhand einer umfangreichen Literaturrecherche der geltenden Richtlinien konnte der Stand der Technik in diesem Bereich aufgezeigt werden. Das Wissen über die unterschiedlichen Modelle der Zustandserfassung und -bewertung für die einzelnen Objekte der Straßeninfrastruktur bilden die Basis für die Entwicklung eines neuen Schlüsselparameters im Asset Management. Die Ausführungen zeigen deutlich, dass es aktuell standardisierte und reproduzierbare Zustandsbewertungen auf der Grundlage von Mess- und Erfassungsgrößen für den Straßenoberbau gibt. Im Bereich der Kunstbauten baut die Zustandsbewertung jedoch auf der Einschätzung von Prüfindingenieuren der einzelnen Fachrichtungen auf, wodurch es durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen für ein und dasselbe Bauwerk kommen kann. Die Beurteilung der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung von Tunneln stützt sich bei der Gesamtwertberechnung zwar auf festgelegte Formeln, die einzelnen Teilnoten werden allerdings teilweise über ingenieurmäßige Einschätzungen gewonnen. Daraus abgeleitet lässt sich erkennen, dass die Zustandsbewertung von Anlagen der Straßeninfrastruktur innerhalb eines Landes keine standardisierte Vorgehensweise darstellen muss, was bei der Prognose von Zustandsentwicklungen auf jeden Fall zu berücksichtigen ist.

Im zweiten Schritt gibt dieses Kapitel einen Überblick über das derzeitige Datenmanagement der ASFINAG, welche als Straßenverwaltung für das höherrangige Straßennetz in Österreich verantwortlich ist. Die Mindestanforderungen werden dabei über die RVS-Richtlinien des FSV vorgegeben. Das Asset Management der ASFINAG geht jedoch über diese hinaus, weshalb mittels Datenanalyse die vorhandenen Informationen der einzelnen Anlagenarten aufgezeigt werden. Die Datenqualität und -quantität bilden wichtige Grundsteine für die Auswahl von möglichen Eingangsgrößen für die Berechnung des technischen Anlagenwerts. Aus der unterschiedlich hohen Qualität und Quantität der Daten ergibt sich die Notwendigkeit der Definition von Mindestanforderungen an Datengrundlagen für die Verwendung im anschließenden Berechnungsmodell. Bei der Entwicklung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts muss somit eine flexible Anpassung sowohl an unterschiedliche Zustandsbewertungsmodelle als auch Datenmanagementsysteme inkl. deren Qualität und Quantität bedacht werden. Dies fließt in die Definition des holistischen Bewertungsrahmens im nachfolgenden Kapitel mit ein.

Die kurze Vorstellung der grundlegenden Formeln der Kapitalwertmethode zeigen im letzten Abschnitt dieses Kapitels die Wichtigkeit der Bewertung von Investitionen zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Sinne der Vergleichbarkeit. Mittels der Anwendung von Auf- und Abzinsungsfakto-

ren können Zinsen und Inflationsraten innerhalb der gewählten Betrachtungsperiode berücksichtigt werden. Dies spielt für die Entscheidung über den jeweiligen Investitionszeitpunkt und die damit verbundene Entwicklung von monetären Werten eine wesentliche Rolle. Anhand der vermittelten Grundlagen ist erkennbar, dass die Verfahren der Investitionsrechnung insbesondere bei der Aufrechnung (kumulierte Betrachtung) von Wertentwicklungen nicht außer Acht gelassen werden sollten.

Auf Basis der in diesem Kapitel zusammengefassten Grundlagen im Bereich der Zustandserfassung, Zustandsbewertung, dem Datenmanagement und der Finanzmathematik können in weiterer Folge die Randbedingungen und möglichen Eingangsgrößen für den technischen Anlagenwert bestimmt werden. Anschließend kann die detaillierte Ausgestaltung des Berechnungsmodells aus qualitativer und quantitativer Sicht erfolgen.



## Kapitel 3

# Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts von Infrastrukturanlagen

In Abgrenzung zur buchhalterischen Abschreibung von Anlagenwerten hat sich die Autorin dieser Arbeit mit Hilfe des Forschungsteams des Forschungsprojekts *Technische Anlagenbewertung im Asset Management (TAniA)* zum Ziel gesetzt, einen Berechnungsalgorithmus zur Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts für den Infrastrukturbau zu entwickeln. In einem ersten Schritt wird hierfür der holistische Bewertungsrahmen für die Berechnung definiert, um damit den Betrachtungs-, Bewertungs- und Analysebereich näher eingrenzen zu können. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Berechnungsalgorithmus stellt die Auswahl der anzuwendenden Lebenszyklen dar. Hierbei gibt es, in Abhängigkeit der verfügbaren Daten, mehrere Möglichkeiten, die dynamischen Lebenszyklen der Anlagen (Bauwerke) und Anlagenteile (Bauteile) zu definieren. Schlussendlich kann unter Bezugnahme auf den Bewertungsrahmen und die dynamischen Lebenszyklen der zustandsbasierte technische Anlagenwert gemäß der Definition des Forschungsteams berechnet werden. Ergänzend erfolgt im Anschluss die Erläuterung zur Anwendung von Effektivitätsdiagrammen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auf Basis des normierten technischen Anlagenwerts. Eine Zusammenfassung der grundlegenden Forschungsergebnisse kann dem Endbericht des Forschungsprojekts [90] entnommen werden, welcher als Grundlage für dieses Kapitel dient.

### 3.1 Überblick des qualitativen Zusammenhangs von Zustand und technischem Anlagenwert

Zum besseren Verständnis der nachfolgenden Abschnitte wird zunächst die Grundidee des technischen Anlagenwerts und der qualitative Zusammenhang mit dem Zustand erläutert. Im Zuge dieses Überblicks erfolgt außerdem die Definition der ersten wesentlichen Begriffe für die Beschreibung von Zustandsverläufen im Lebenszyklus und die Ermittlung des technischen Anlagenwerts.

Die Basis des Berechnungsmodells bildet der Zustand des betrachteten Objekts über den Lebenszyklus. Hierfür wird der Zustandsverlauf über ein Zeit-Zustand-Diagramm abgebildet, bei dem auf der Abszisse die Zeit und auf der Ordinate der Zustand aufgetragen wird. Der technische Lebenszyklus ist dabei ausgehend von der Errichtung bzw. Neukonstruktion der Anlage bis zum Abbruch bzw. Außerdienststellung definiert. Das Ende des technischen Lebenszyklus ist mit dem Erreichen des Grenzzustands des Abbruchs erreicht (siehe Abb. 3.1). Zusätzlich zur Lebensdauer eines Objekts ist die technische Nutzungsdauer der Anlage zu unterscheiden. Diese reicht von der Errichtung bis zum jenem Zeitpunkt, an dem die bestimmungsgemäße Nutzung durch deren Abnutzung oder strukturelle Schädigung nicht mehr erfüllt werden kann. Innerhalb eines Lebenszyklus kann es somit auch zu temporären Einschränkungen der bestimmungsgemäßen Nutzung kommen, welche durch Erhaltungsmaßnahmen wieder aufgehoben werden können. Die Wirkung von solchen Maßnahmen sind durch Sprünge im Zustandsverlauf zu erkennen.

Grundsätzlich können Erhaltungsmaßnahmen im Sinne des technischen Anlagenwerts in drei Kategorien unterteilt werden: Instandhaltungen, Instandsetzungen und Erneuerungen. Unter Instandhaltungen sind, in Anlehnung an die *ÖNORM EN 13306* [44], all jene laufend durchgeführten Aktivitäten zu verstehen, die eine Verringerung der Schadensentwicklung bewirken, aber keine gänzliche Schadensbehebung beinhalten. Die dauerhafte Wirkung ist in Abb. 3.1 anhand des flacheren Zustandsverlaufs gegenüber der „Nichts-Tun“-Kurve zu erkennen. Bei Instandsetzungsmaßnahmen handelt es sich hingegen um größere Aktivitäten, die zu einer deutlichen Verbesserung des Anlagenzustands führen. Sie sind durch einen Sprung im Zustandsverlauf zu erkennen, haben aber in der Regel nicht die Erreichung des Ursprungszustands zum Ziel. Sind die Maßnahmen so umfangreich, dass der Zustand anschließend annähernd wieder dem neuwertigen Zustand entspricht, dann spricht man im Sinne des technischen Anlagenwerts von einer Erneuerung<sup>3</sup>. Diese haben durch den Eingriff in die Bausubstanz zumeist zusätzlich eine Wirkung auf den anschließenden Zustandsverlauf.

Neben der Untersuchung des gesamten technischen Lebenszyklus und der technischen Nutzungsdauer ist zusätzlich eine Ermittlung des technischen Anlagenwerts für eine bestimmte Betrachtungsperiode möglich. Dieser Ausschnitt aus dem Lebenszyklus einer Anlage muss durch die Angabe eines Anfangspunkts  $t_A$  und eines Endpunkts  $t_E$  definiert sein, wie in Abb. 3.1 dargestellt. Liegt das Ende des Betrachtungszeitraums vor dem Erreichen des Grenzzustands des Abbruchs, dann ist mit einem Restwert des technischen Anlagenwerts zu rechnen.

Ein weiterer wesentlicher Punkt für das grundsätzliche Verständnis des technischen Anlagenwertes ist der Zusammenhang zwischen dem Zustandsverlauf und dem Wertverlauf einer Infrastrukturanlage. Im Rahmen der Diskussionen und Workshops innerhalb des Forschungsprojekts *TAniA* hat sich herausgestellt, dass insbesondere eine Unterscheidung der folgenden theoretisch monetären Werte entsprechend den Ausführungen im *Deliverable 3.1* [88] wichtig ist:

**Herstellungswert** bildet die ursprünglich erforderlichen Kosten für die Errichtung zum Zeitpunkt  $t=0$  (Beginn des technischen Lebenszyklus) der Anlage bzw. der Anlagenteile ab.

**Wiederbeschaffungswert** beschreibt die Entwicklung des monetären Werts, wenn die Anlage in gleicher Art und Funktionalität (Stand der Normen und Richtlinien zum Zeitpunkt der Errichtung) zu einem späteren Zeitpunkt nochmals gebaut werden würde. Er berücksichtigt ausschließlich die notwendige Indexanpassung.

**Erneuerungswert** gibt den theoretischen monetären Wert wieder, der benötigt wird, um eine Anlage mit der gleichen Funktionalität, aber nach dem aktuellen Stand der Technik (aktuelle Normen und Richtlinien) in einen ausgezeichneten Zustand wieder zu errichten. Es werden keine Anpassungen der Funktion berücksichtigt, wie beispielsweise zusätzliche Fahrstreifen. Der Wert beinhaltet somit die notwendige Indexanpassung und periodische Anpassung an etwaige Änderungen der technischen Anforderungen durch aktuelle Vorgaben aus Normen und Richtlinien. Es handelt sich dabei allerdings nicht um einen kompletten Neubau der Anlage. Wesentliche konstruktive Bestandteile des Objekts können nach Möglichkeit weiterverwendet werden (z. B. Straßenbefestigung des Oberbaus, die bereits ausgebrochene Tunnelröhre, Pfeilerfundamente etc.).

**Neubeschaffungswert** stellt jenen Wert dar, der aufgewendet werden muss, um eine Anlage zu einem späteren Zeitpunkt wieder zu errichten, angepasst an die dann geltenden technischen Anforderungen (Stand der Technik) und funktionalen Anforderungen (erhöhte Verkehrsbelastung). Diese Betrachtung führt zusätzlich zur periodischen Indexanpassung zu

<sup>3</sup>vergleichbar mit einer tiefgreifenden Instandsetzung gemäß *RVS 13.05.11* [77]

Werterhöhungen an verschiedenen Zeitpunkten im Lebenszyklus (z. B. bei neuen Normen oder zusätzlichen Fahrstreifen).

Diese vier Werte stimmen zum Zeitpunkt der Errichtung ( $t=0$ ) grundsätzlich überein (Abb. 3.1). Da jedoch die Herstellungskosten nicht für alle bestehenden Anlagen innerhalb der österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßennetzes bekannt sind, ist dieser Wert als Ausgangsbasis für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts nur bedingt geeignet. Folglich muss der Ausgangswert für die Berechnung auch zu einem beliebigen späteren Zeitpunkt innerhalb des technischen Lebenszyklus bekannt sein. Deshalb hat sich bei Diskussionen mit den Auftraggebern der Erneuerungswert als maßgebende Größe herauskristallisiert. Dieser bietet gegenüber dem Wiederbeschaffungswert

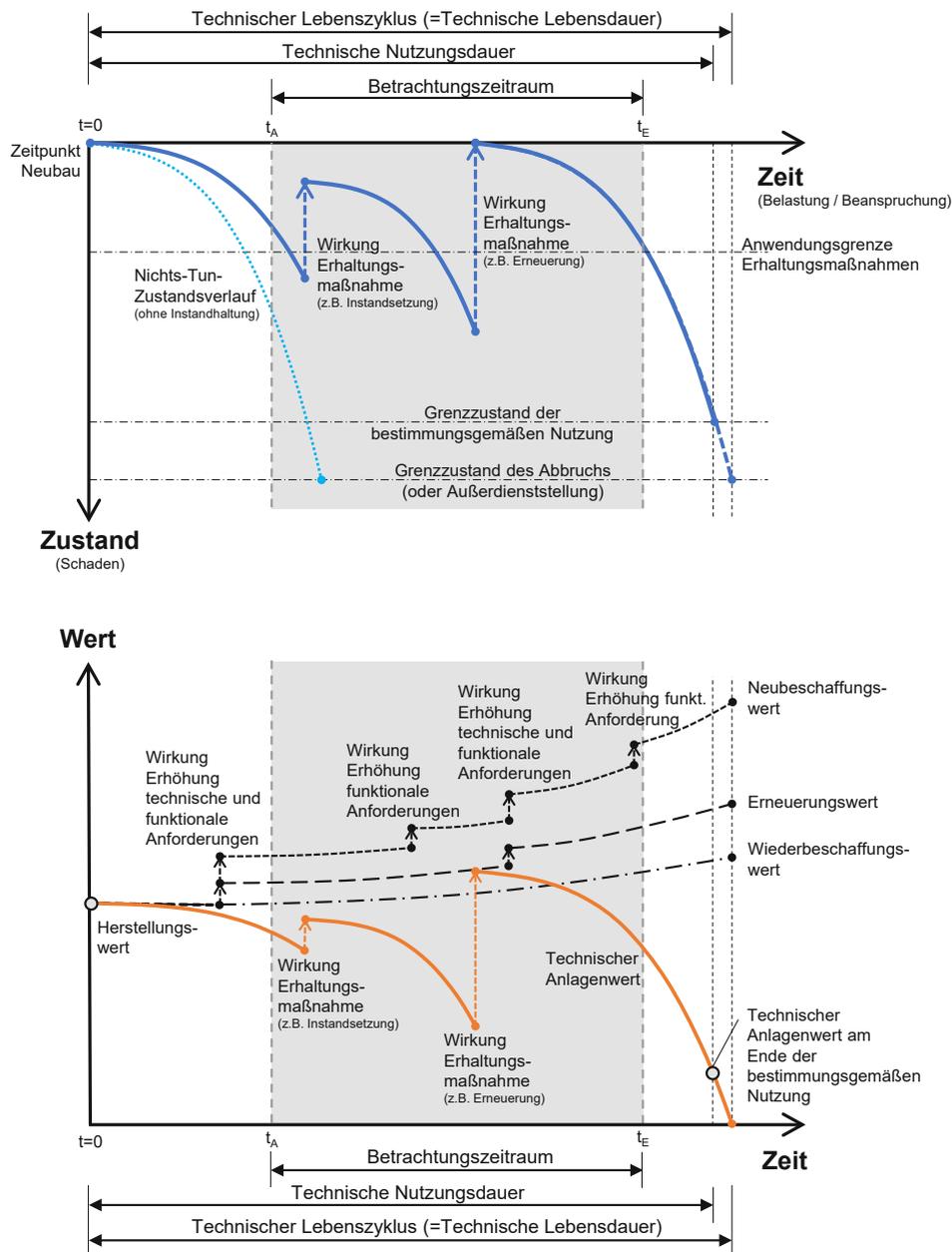


Abb. 3.1: Übersicht Zustandsverlauf und technischer Anlagenwert im Lebenszyklus (modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, 28 f.] )

den Vorteil, dass auch die notwendigen Anpassungen an geänderte technische Vorgaben abgebildet werden können, zumindest für die Vergangenheit. Die Verwendung des Wiederbeschaffungswerts ist insofern nicht zielführend, da die nochmalige Errichtung desselben Objekts zu einem späteren Zeitpunkt nach alten technischen Normen und Richtlinien nicht erlaubt ist und dieser Wert somit eine rein theoretische Größe darstellt. Im Gegensatz dazu sind beim Neubeschaffungswert die Änderungen der funktionalen Anforderungen zu berücksichtigen. Diese lassen sich jedoch mit objektiven Grundlagen nur sehr schwer für die Zukunft abschätzen und bewerten.

Somit stellt der Erneuerungswert die Grundlage für die Berechnung dar, welcher über aktuelle Kostenschätzungen und Preisbenchmarks der einzelnen Anlagenteile ermittelt wird. Daraus definiert sich der technische Anlagenwert laut [90, S. 36] als jener „auf Basis des aktuellen Anlagenzustands ermittelte[r] Wert“, welcher „sich aus dem Erneuerungswert abgemindert um den Wertverlust infolge Abnutzung, Alterung oder Funktionsbeschränkungen“ ergibt. Dieser kann für die betreffenden Anlagenteile einzeln berechnet und im Anschluss für das Gesamtobjekt aufsummiert werden. Da eine Erhaltungsmaßnahme einen Sprung im Zustandsverlauf darstellt, ist diese auch durch eine Wertsteigerung im Verlauf des technischen Anlagenwerts zu erkennen, wie in Abb. 3.1 (unten) abgebildet. Detaillierte Ausführungen zum Berechnungsalgorithmus finden sich in Abschnitt 3.4 dieser Arbeit.

Für eine detailliertere Betrachtung von Lebenszyklen der unterschiedlichen Anlagentypen werden im Sinne des technischen Anlagenwerts die Anlagenteile in weiterer Folge auf Basis ihrer üblichen Nutzungsdauern zusammengefasst. Im Forschungsprojekt *TAniA* erfolgt dies in Anlehnung an die Zustandsindikatoren im Bereich des Straßenoberbaus über zwei dimensionslose normierte Indikatoren (0–100) zur Bewertung des Anlagevermögens der Konstruktion bzw. Ausrüstung.

Der Konstruktionsindikator (KI) dient gemäß Weninger-Vycudil et al. [90] der Beschreibung des Anlagevermögens von konstruktiv-baulichen Anlagenteilen innerhalb der unterschiedlichen Infrastrukturobjekte. Diese haben gemeinsam, dass ein gänzlicher Austausch innerhalb des technischen Lebenszyklus des Gesamtbauwerks nur im Ausnahmefall erfolgt. Eine Ertüchtigung oder Teilerneuerung kann jedoch im Zuge einer intensiven Erhaltungsmaßnahme erforderlich sein.

Jene Anlagenteile eines Infrastrukturobjekts, die innerhalb des technischen Lebenszyklus ein- bis mehrmals ersetzt oder erneuert werden müssen, können laut [90] als konstruktiv-funktionale Bauteile zusammengefasst werden. Für die weitere Ermittlung des technischen Anlagenwerts bildet der normierte Ausrüstungsindikator (AI) die abgestimmten und optimierten Erhaltungsintervalle dieser Anlagenteile ab.

Abb. 3.2 zeigt die Gegenüberstellung der beiden Indikatoren für einen Ausschnitt aus dem Lebenszyklus einer Straßeninfrastrukturanlage. Bei näherer Betrachtung des Konstruktionsindikators (blau dargestellt) ist zu erkennen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums  $t_A$  bis  $t_E$  eine Instandsetzungsmaßnahme mit einer positiven Auswirkung auf den Wert des Konstruktionsindikators stattfindet. Im selben Zeitraum zeigt sich das kürzere Erhaltungsintervall des Ausrüstungsindikators (grün abgebildet). Zum Zeitpunkt der Instandsetzungsmaßnahme an der Konstruktion erfolgt die Durchführung von Erneuerungsmaßnahmen an der Ausrüstung, wodurch der volle Wert des AI wieder erreicht wird. Zusätzlich ist zu erkennen, dass bis zu dieser Erneuerung bereits zwei Maßnahmen durchgeführt wurden.

## 3.2 Holistischer Bewertungsrahmen

Für die korrekte Anwendung eines Berechnungsmodells sind genaue Vorgaben zu dessen Anwendungsbereich und Bewertungsrahmen erforderlich. Hierbei spielen insbesondere die Betrachtung

tungsebenen, die Gliederung der Straßeninfrastruktur und die erforderlichen Eingangsgrößen für den technischen Anlagenwert eine wesentliche Rolle, weshalb die nachfolgenden Abschnitte diese näher erläutern. *Deliverable 3.1* [88] des Forschungsprojekts *TAniA* enthält eine ausführliche Beschreibung des holistischen Bewertungsrahmens und alle spezifischen Einzelheiten für die drei DACH-Länder. Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich ausschließlich mit der allgemeinen Beschreibung der Rahmenbedingungen und Eingangsgrößen bzw. den Vorgaben für das österreichische Straßennetz.

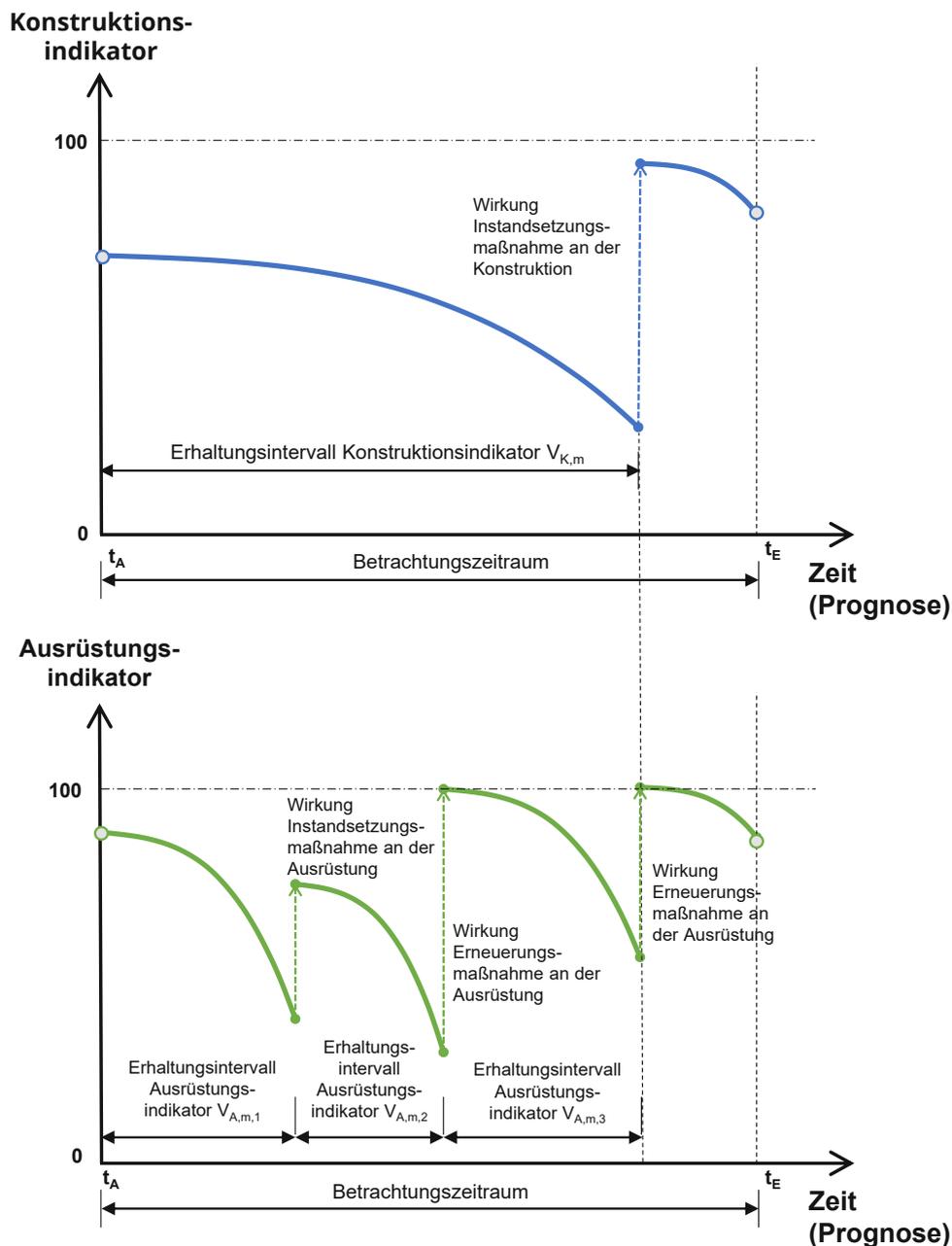


Abb. 3.2: Schematische Darstellung des Konstruktions- und Ausrüstungsindikators (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 67])

### 3.2.1 Anwendungsebenen und Gliederung der Straßeninfrastruktur

Der in Abschnitt 3.1 beschriebene Zusammenhang zwischen dem technischen Anlagenwert und dem Zustand bezieht sich grundsätzlich auf die Betrachtung eines einzelnen Objekts der Straßeninfrastruktur. Generell kann die Ermittlung des technischen Anlagenwerts für Infrastrukturanlagen jedoch auf fünf verschiedenen Betrachtungsebenen mit unterschiedlichen Genauigkeiten erfolgen. Abb. 3.3 zeigt eine schematische Darstellung der grundsätzlichen Anwendungsebenen am Beispiel des österreichischen Straßennetzes. Ebene 1 stellt dabei das gesamte höherrangige Straßennetz dar und ist damit die oberste Betrachtungsebene. Diese kann zur weiteren Unterteilung auf Ebene 2 in einzelne Strecken oder sogar Abschnitte aufgeteilt werden. Auf dieser Ebene könnte beispielsweise eine gesonderte Betrachtung der *A2 – Süd-Autobahn* erfolgen. In Betrachtungsebene 3 erfolgt die Gliederung nach den Anlagenarten Straßenoberbau, Brücken, bauliche Tunnelanlagen sowie elektrotechnische und maschinelle (E&M) Tunnelanlagen.

Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 2.4 bestehen die betrachteten Anlagen aus mehreren Bauteilen, welche gemäß den Vorgaben der RVS-Richtlinien in den Datenmanagementsystemen verwaltet werden. Die Anlagenteile (Bauteile) stellen somit die fünfte und zugleich unterste Ebene des Bewertungsrahmens dar (siehe Abb. 3.3). Diese Abgrenzung des Detaillierungsgrads bietet den Vorteil, dass den Infrastrukturbetreibern in der Regel Baupreise und Herstellungskosten von Instandsetzungsmaßnahmen sowie historische Zustandsdaten über deren Datenbanken vorliegen. Somit bilden die Anlagenteile als kleinste Einheit eine gute Ausgangsbasis für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts.

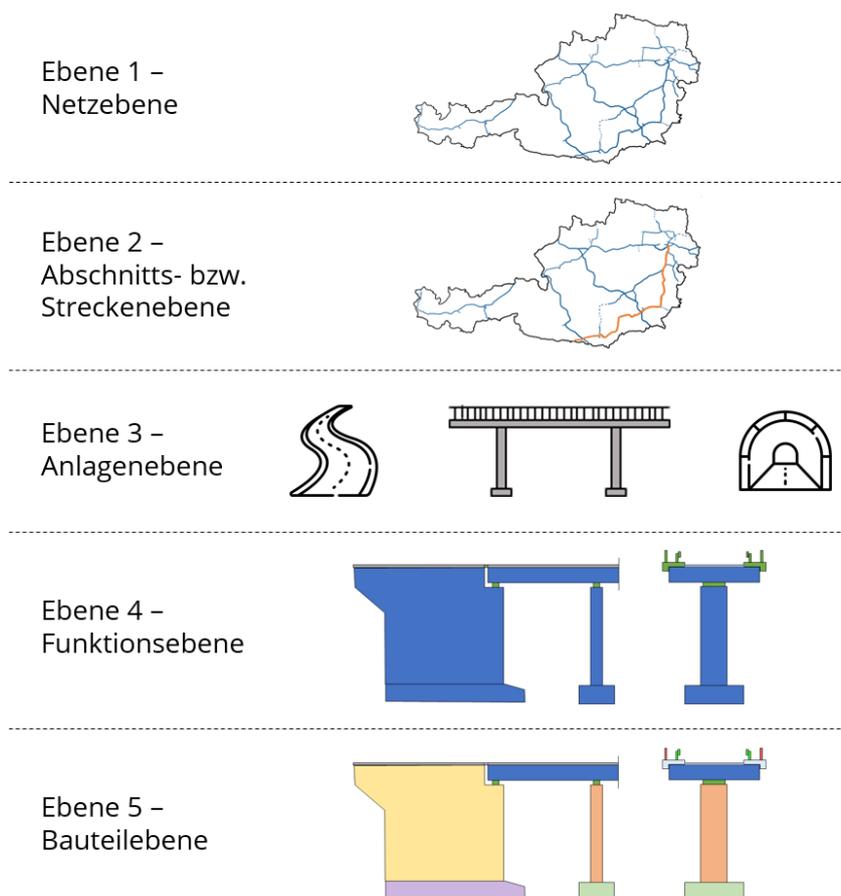


Abb. 3.3: Übersicht der Anwendungsebenen am Beispiel des österreichischen Straßennetzes

Für das anschließende Aufsummieren der technischen Anlagenwerte der einzelnen Bauteile zu einem objektbezogenen technischen Anlagenwert ist die Betrachtung der Erhaltungsintervalle zwischen den Instandsetzungs- und Erhaltungsmaßnahmen erforderlich. Diese können entsprechend der Beanspruchung und Art der Anlagenteile sehr große Unterschiede aufweisen, weshalb eine systembedingte Gliederung zielführend ist. Im Zuge des Projekts wurde aus diesem Grund zusätzlich die Betrachtungsebene 4 eingeführt. Diese fasst die Bauteile entsprechend ihrer Funktion und ihren Erhaltungsintervallen in zwei Kategorien zusammen. Auf der einen Seite werden alle Anlagenteile der Konstruktion mit vergleichsweise langen Erhaltungsintervallen und auf der anderen Seite jene der Ausrüstung mit wesentlich kürzeren Intervallen betrachtet.

Für die Betrachtung auf Ebene 4 (Funktionsebene) ist gemäß dem Forschungsprojekt *TAniA* die eindeutige Zuordnung der Bauteile erforderlich. Für die Berechnungen innerhalb des österreichischen Straßennetzes sind die üblichen Bauteilbezeichnungen laut den Richtlinien des FSV zu verwenden. Diese sind für Bauteile der Brücken der *RVS 13.03.11* [69] und jene der baulichen Tunnelanlagen der *RVS 13.03.31* [70] zu entnehmen. Tab. 3.1 bildet die getroffenen Zuordnungen aller maßgebenden Bauteile für das österreichische Straßennetz innerhalb des Projekts ab. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Straßenaufbau auch im Bereich von Brücken und Tunneln dem Straßenoberbau zuzurechnen ist, um etwaige Doppelberechnungen zu vermeiden.

Generell ist bei der Anwendung des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert auf jeder Ebene eine kritische Betrachtung hinsichtlich der möglichen Aussagegenauigkeit erforderlich. Der höchste Grad an Genauigkeit kann bei der Verwendung von Erhaltungsmaßnahmenstrategien aus einer Analyse des PMS, Bridge Management System (BMS) oder Tunnel Management System (TMS) auf Bauteilebene erzielt werden. Die erzielbaren Ergebnisse einer Berechnung des technischen Anlagenwerts können dabei direkt auf das Gesamtobjekt übertragen werden. Bei der Verwendung von standardisierten Lebenszyklen auf der Funktions- oder Objektebene müssen hingegen Unschärfen in den Ergebnissen für einzelne Anlagen berücksichtigt werden. Durch die Zusammenfassung mehrerer Objekte für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts auf Strecken- oder Netzebene, können sich diese Ungenauigkeiten jedoch wieder ausgleichen. Gemäß dem *Deliverable 3.1* [88] ermöglicht diese Art der Betrachtung dennoch unterschiedliche Aussagen auf Netzebene, wie beispielsweise die Entwicklung des (mittleren) technischen Anlagenwerts und des (mittleren) jährlichen Wertverlusts für Straße, Brücke, bauliche Tunnelanlage, elektrotechnische und maschinell Tunnelausrüstung sowie für alle Anlagenarten gesamtseitlich. Zusätzlich ermöglicht die Betrachtung auf Netzebene einen Vergleich von unterschiedlichen Erhaltungsmaßnahmenstrategien unter gegebenen Randbedingungen.

### 3.2.2 Eingangsgrößen

Zusätzlich zur gewählten bzw. möglichen Betrachtungsebene spielen die erforderlichen Eingangsgrößen eine wesentliche Rolle für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts. Diese hängen sehr stark von den zur Verfügung stehenden Daten der Infrastrukturbetreiber ab. Aufgrund der unterschiedlichen Datenqualität und -quantität gibt das Forschungskonsortium des Forschungsprojekts auf Basis der durchgeführten Datenanalyse im *Deliverable 3.1* [88] die Mindestanforderungen an. Dabei ist stets zu berücksichtigen, dass die Genauigkeit der Berechnung natürlich mit einem höheren Informationsgehalt der Eingangsgrößen steigt. Auf Basis der untersuchten Datengrundlagen haben sich folgende Informationen als wesentliche Eingangsgrößen herausgestellt:

**Netz- und Referenzierungsdaten:** Für die Berechnung des technischen Anlagenwerts sind grundlegende Informationen zur Örtlichkeit der Anlage erforderlich. Aufgrund der getrennten Betrachtung von Straßenoberbau und Ingenieurbauwerken ist insbesondere deren örtlicher Zusammenhang und die Referenzierung zu einem Straßen- bzw. Netzabschnitt notwendig.

**Tab. 3.1:** Zuordnung der Bauteile zur Konstruktion bzw. Ausrüstung für Österreich (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 69 ff.]

Art der Anlage	Konstruktion	Ausrüstung
Straßenoberbau	gebundene Tragschichten	Deckschicht
	ungebundene Tragschichten	Binderschicht
Brücken	Überbau	<b>kurz:</b> Fahrbahnübergang, Korrosionsschutz, Sonstige Ausrüstung (z. B. Geländer, Schutzeinrichtungen etc.) <b>lang:</b> Lager, Abdichtung und Entwässerung, Randbalken, Geländer, Fahrzeugrückhaltesysteme, Beleuchtungen, Besichtigungseinrichtungen
	Unterbau	
Tunnel – baulich	Tunnelröhre	Abdichtung und Entwässerung erhöhter Seitenstreifen Sonstige Ausrüstung
	Portal	
	Schächte	
	Zwischendecke	
	Nischen	
	Kavernen	
	Fluchtwege	
	Sonstige bauliche Anlagen	
Tunnel – E&M-Ausrüstung	Betriebsgebäude	<b>kurz:</b> E&M-Ausrüstung mit Lebensdauer $\leq 10$ Jahre (z. B. Videoanlagen, Verkehrslichtsignalanlagen etc.) <b>mittel:</b> E&M-Ausrüstung mit Lebensdauer $> 10$ Jahre und $\leq 20$ Jahre (z. B. Beleuchtung, Brandmeldeanlage etc.) <b>lang:</b> E&M-Ausrüstung mit Lebensdauer $> 20$ Jahre (z. B. Notstromaggregate, Kräne etc.)

**Aktueller Zustand:** Der aktuelle Zustand stellt einen der wichtigsten Eingangsparameter für den technischen Anlagenwert dar. Die Mindestanforderung ist dabei die Kenntnis des aktuellen Zustands der Anlage (Gesamtnote). Die Berechnungen auf Basis einer Gesamtnote besitzen jedoch eine sehr geringe Aussagegenauigkeit. Zur Erhöhung der Genauigkeit empfiehlt es sich, die Zustandsinformationen für die Konstruktion und die Ausrüstung oder noch besser jene der Bauteile heranzuziehen.

**Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung:** Zur Ermittlung des zukünftigen Verlaufs des technischen Anlagenwerts innerhalb des Betrachtungszeitraums ist die Kenntnis über die mögliche Entwicklung des Zustands erforderlich. Dies kann auf unterster Ebene über standardisierte Lebenszyklen von Anlagen bzw. Konstruktion- und Ausrüstungselementen erfolgen. Eine detailliertere Berechnung ist mit dem Wissen über die bisherige Zustandsentwicklung auf Basis eines PMS, BMS oder TMS möglich.

**Inventardaten:** Die Inventardaten der unterschiedlichen Anlagen spielen an mehreren Stellen des Berechnungsmodells eine wesentliche Rolle. Einerseits sind die wesentlichen konstruktiven Eigenschaften (z. B. Anlagenart, Bauweise, Material, Alter etc.) bei der Auswahl des Zustandsprognosemodells bzw. der Standardlebenszyklen erforderlich, andererseits stellen die Informationen zum Ausmaß des Objekts bzw. Bauteils (z. B. Länge, Dicke, Fläche, Stückzahl etc.) wichtige Parameter für die Kostenermittlung dar. Ohne Kenntnis über die grundlegende Struktur einer Infrastrukturanlage ist die Ermittlung des technischen Anlagenwerts nicht zielführend.

**Beanspruchungen:** Bei der Verwendung von Standardlebenszyklen ist zur Auswahl des passenden Lebenszyklus auf die vorhandene Verkehrsbelastung und Klimaeinflüsse zu achten. Dies kann entfallen, wenn die Zustandsentwicklung anhand eines PMS, BMS oder TMS berücksichtigt wird, da diese die standortspezifischen Beanspruchungen bereits beinhalten.

**Kosten:** Für die Berechnung des monetären Werts einer Anlage bzw. der Wirkung einer Erhaltungsmaßnahme ist das Wissen über Kostendaten notwendig. Empfehlenswert ist hierfür das Anlegen eines Kostenkatalogs bzw. das Sammeln von Kostenkennwerten für unterschiedliche Maßnahmen zumindest auf Bauwerksebene, besser jedoch auf Bauteilebene bezogen.

Aus den angeführten Mindestvorgaben zu den Eingangsgrößen für einen technischen Anlagenwert ist zu erkennen, dass eine überschlägige Berechnung bereits mit einer geringen Datenqualität und -quantität möglich ist. Dies führt allerdings dazu, dass wesentliche Entscheidungen im Vorfeld durch ingenieurmäßige Einschätzungen getroffen werden müssen, wie beispielsweise die passende Wahl von Standardlebenszyklen oder Kostenabschätzungen für Erhaltungsmaßnahmen. Je höher der Wissensstand über die eigenen Anlagen ist und je besser diese Informationen in einem Datenmanagementsystem gepflegt werden, umso automatisierter und detaillierter kann die Ermittlung des technischen Anlagenwerts erfolgen.

### 3.3 Zustandsprognosemodelle

Für die Prognose des technischen Anlagenwerts ist das Wissen über die mögliche Entwicklung des Anlagenzustands über die Zeit erforderlich. Hierfür werden weltweit Lebenszyklusanalysen mit dem Ziel der Auswahl einer optimalen Erhaltungsstrategie eingesetzt. Dabei sind stets die vorgegebenen monetären Rahmenbedingungen oder Vorgaben an den erforderlichen Zustand einer Anlage zu berücksichtigen. In Österreich stellt die Lebenszyklusbewertung den Stand der Technik für eine effiziente und nachvollziehbare Erhaltungsplanung für das gesamte Straßennetz dar [92].

Die Beurteilung von Erhaltungsmaßnahmen und deren Einsatzzeitpunkt hängt im Wesentlichen vom zeitabhängigen Verlauf des Anlagenzustands ab, der in den meisten Modellen über Degradationskurven ermittelt wird. Die Genauigkeit basiert dabei auf der Qualität und Quantität der verfügbaren Eingangsinformationen (z. B. Alter, Verkehrsbelastung, vergangene Zustandsbewertungen etc.). Anhand der Zustandsprognose soll die Möglichkeit gegeben sein, den Zeitpunkt des Erreichens eines kritischen Zustands und einer daher erforderlichen Erhaltungsmaßnahme zu ermitteln. Dieser Abschnitt beschreibt die Varianten der Verwendung unterschiedlicher Lebenszyklusanalysen im Sinne des technischen Anlagenwerts und empfohlene standardisierte Lebenszyklen entsprechend den Ausführungen im Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90].

### 3.3.1 Varianten zur Auswahl von Lebenszyklen

Grundsätzlich ist für die Berechnung des technischen Anlagenwerts die Prognose über die Degradationskurven und Abfolgen von Erhaltungsmaßnahmen einer Anlage oder eines Anlagenteils erforderlich. Diese können in unterschiedlicher Genauigkeit ermittelt werden. Die größte Genauigkeit der Vorhersage bieten bereits erprobte Erhaltungsmanagementsysteme, welche auf einer großen Datengrundlage angepasst an örtliche und objektspezifische Randbedingungen aufbauen. Da diese jedoch nicht immer für alle Anlagen und Anlagenteile zur Verfügung stehen, ist es wichtig, vereinfachte Lösungen ebenfalls in Betracht zu ziehen. Je weniger eigene Daten dem Straßenerhalter zur Verfügung stehen, umso stärker sinkt die Aussagequalität für die einzelnen Bauwerksprognosen. Im Wesentlichen können gemäß Endbericht [90] die folgenden drei Varianten für die Prognose des technischen Lebenszyklus (Verlauf der Degradation und Zeitpunkt von Erhaltungsmaßnahmen) zur Anwendung kommen:

**Variante A – Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen:** Die Verwendung von Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen (PMS, BMS, TMS) bietet den Vorteil, dass regionale Besonderheiten bereits in der Prognose berücksichtigt sind. Diese externe Ermittlung baut in den meisten Fällen bereits auf den geplanten Bauprogrammen der Straßenerhalter auf und kann unterschiedliche Erhaltungsstrategien abdecken. Sie stellt die Variante mit der höchsten Genauigkeit für das Einzelobjekt dar.

**Variante B – Kalibrierte Standardlebenszyklen:** Anhand der verfügbaren Daten werden die ausgewählten Standardlebenszyklen kalibriert, durch die Anpassung der Erhaltungsintervalle an das Ergebnis von anwendbaren Degradationskurven. Dabei gibt der aktuelle Zustand den Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme vor. Die Reihenfolge der nachfolgenden Maßnahmen werden anhand des vordefinierten Maßnahmenkatalogs des Standardlebenszyklus geplant.

**Variante C – Standardlebenszyklen:** Steht ausschließlich die aktuelle Zustandsnote einer Anlage zur Verfügung, so ist die Verwendung eines standardisierten Lebenszyklus für die weitere Berechnung möglich. Diese Standardlebenszyklen werden anhand vorgegebener Auswahlparameter herangezogen. Durch Zuordnung des aktuellen Zustands wird der Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme und die Abfolge weiterer Maßnahmen bestimmt.

Stehen dem Straßenerhalter für die betreffenden Anlagen keine standardisierten Lebenszyklen zur Verfügung, bietet der nachfolgende Abschnitt einen Überblick über anwendbare Standardlebenszyklen. Diese können entsprechend den Erfahrungen der Fachabteilungen der Straßenerhaltung für die weitere Verwendung angepasst und ergänzt werden.

### 3.3.2 Standardisierte Lebenszyklen

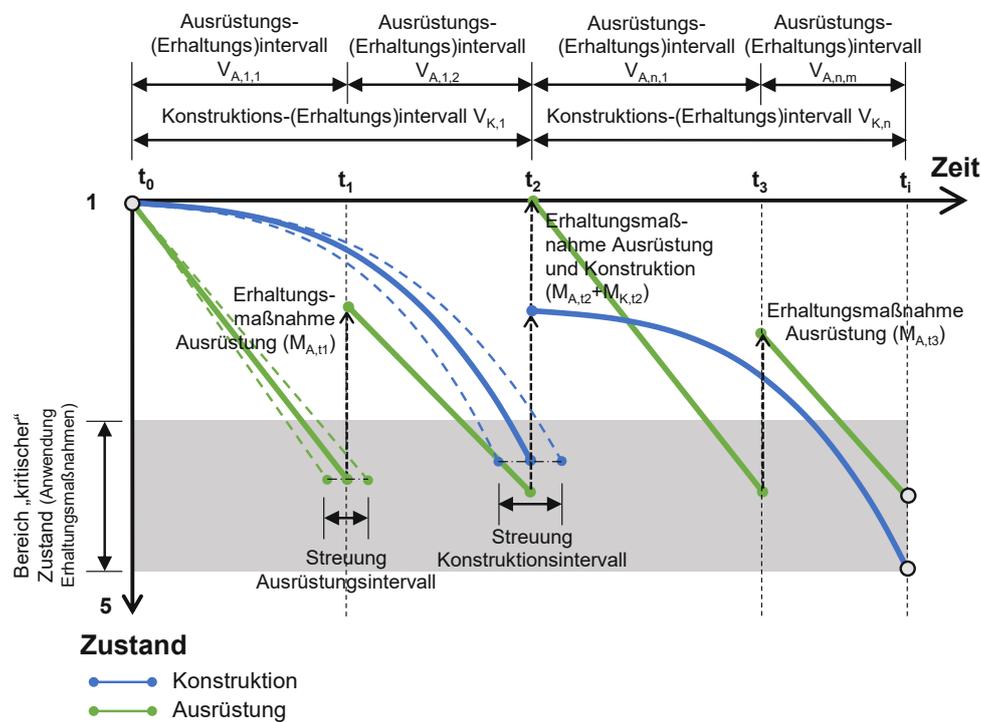
Im Sinne der grundsätzlichen Anwendbarkeit des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert von Infrastrukturanlagen muss auch ohne Vorhandensein von Erhaltungsmanagementsystemen eine Ermittlung möglich sein. In diesem Fall kann die Prognose auf allgemeinen Standardlebenszyklen für die einzelnen Anlagen aufbauen. Diese bieten eine vordefinierte Abfolge von Erhaltungsmaßnahmen auf Basis von Zustandswerten der maßgebenden Ausrüstungs- und Konstruktionsteile in Anlehnung an eine Erhaltungsmaßnahmenstrategie.

Die im Arbeitspaket 4 des Forschungsprojekts *TAniA* [89] entwickelten Vorschläge für Standardlebenszyklen stellen eine Grundlage dar und können durch die Anwender und Fachexperten beliebig angepasst und erweitert werden, um den jeweiligen länderspezifischen Anforderungen zu entsprechen. Dabei sollten allerdings die gegenseitigen Abhängigkeiten zwischen den Anlagenteilen

beachtet werden, damit keine bautechnischen Widersprüche zustande kommen. Beispielsweise erfordert der Tausch der Abdichtung bei einer Brücke auch die Erneuerung des Fahrbahnbelags, weshalb eine kurz davor durchgeführte Fahrbahnerneuerung bautechnisch und wirtschaftlich nicht sinnvoll wäre. Diesbezüglich sollte die Länge eines Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls ( $V_{K,n}$  [Jahre]) am besten der Summe der darin enthaltenen Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervalle ( $V_{A,n,m}$  [Jahre]) entsprechen:

$$V_{K,n} = \sum_m V_{A,n,m} \quad (3.1)$$

Dieser Zusammenhang ist grafisch in Abb. 3.4 dargestellt. Zusätzlich ist an dieser Stelle noch zu erwähnen, dass eine Erhaltungsmaßnahme nicht zwingend alle Bauteile des Ausrüstungs- oder Konstruktionsindikators betreffen muss, sondern sich auch nur auf einzelne maßgebende Anlagenteile zur Verbesserung des Gesamtzustands beziehen kann.



**Abb. 3.4:** Schematische Darstellung der Erhaltungsintervalle für Konstruktion und Ausrüstung (modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 105])

Die nachfolgend angeführten Vorschläge für Standardlebenszyklen basieren auf aktuellen Ergebnissen der Forschung im Bereich der Lebenszyklusanalyse (engl.: Life-Cycle-Analysis (LCA)) bzw. Lebenszykluskostenberechnungen und den derzeitigen Anwendungen von Lebenszyklen in den Erhaltungsmanagementsystemen. Beispielsweise dienen zusätzlich zu den nachfolgend ausdrücklich erwähnten Quellen unter anderem die Publikationen und Veröffentlichungen von Adden et al. [2], Engelhardt [31], Hoffmann [36], Weninger-Vycudil et al. [93] und Zinke [95] sowie Vorgaben aus der österreichischen *Voranschlags- und Rechnungsabschlussverordnung 2015 (VRV 2015)* [84] und der deutschen *Ablösebeträge-Berechnungsverordnung (ABBV)* [1] als Grundlagen bzw. Diskussionsbasis. Die vorgeschlagenen standardisierten Lebenszyklen enthalten gemäß den Ausführungen im Endbericht [90] Angaben zum jeweiligen Auswahlparameter, Erhaltungsintervalle für die Ausrüstung und Konstruktion, Funktionen für Zustandsverläufe und Standardprognosemodelle inkl. Informationen zu den Erhaltungsmaßnahmen. Allgemein erfolgt die Darstellung der Zu-

standsverläufe anhand einer kontinuierlichen Funktion des Zustandswerts (Degradationskurven) und nicht über einen stufenförmigen Verlauf der Zustandsnoten 1 bis 5. Erhaltungsmaßnahmen werden in den standardisierten Lebenszyklen ab dem Erreichen des Zustandswerts 4 eingeplant, können allerdings durch Fachexperten der Straßenerhalter angepasst werden. In den anschließenden Abschnitten werden die jeweiligen Auswahlparameter der Anlagentypen Straßenoberbau, Brücken und Tunnel zusammengefasst sowie jeweils ein Standardlebenszyklus mit den darin enthaltenen Erhaltungsmaßnahmen angeführt. Eine vollständige Sammlung der im Forschungsprojekt vorgeschlagenen, standardisierten Lebenszyklen sind im Anhang A dieser Arbeit bzw. dem *TAniA*-Endbericht [90] enthalten.

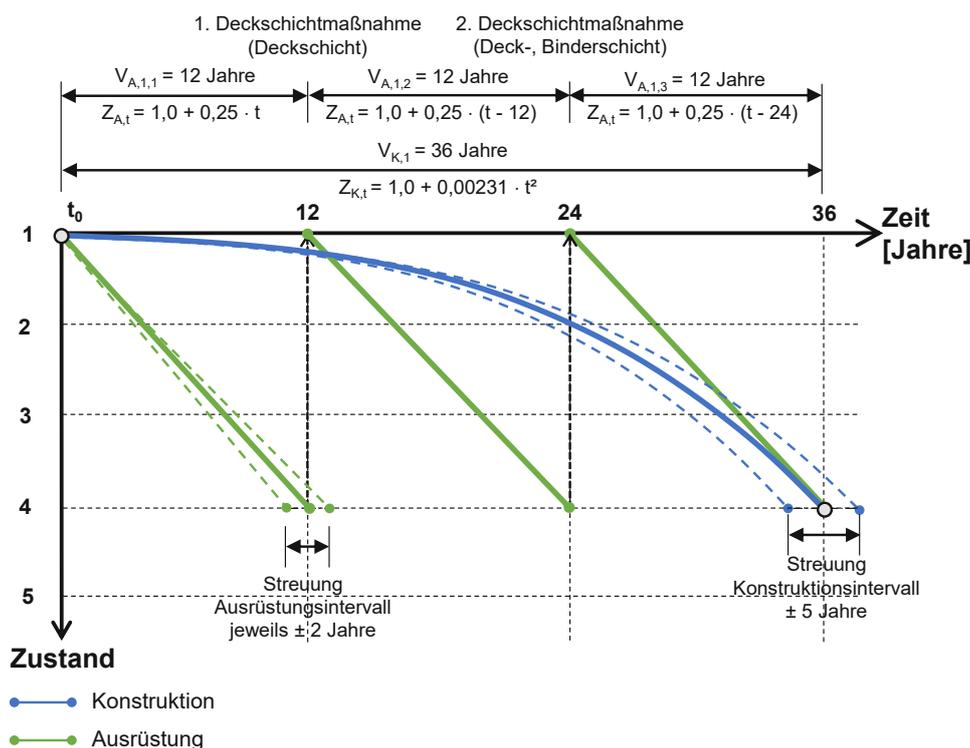
### Straßenoberbau

Im Bereich des Straßenoberbaus können, auf Grundlage der aktuellen Untersuchungen der ASFINAG und Lebenszyklusbetrachtungen der DACH-Länder [48, 86, 92], fünf Standardlebenszyklen unterschieden werden. Diese beziehen sich grundsätzlich auf die verschiedenen Bauweisen und Materialien der Deckschicht. Tab. 3.2 gibt einen Überblick zu den Auswahlparametern der fünf Lebenszyklen. Als Beispiel der standardisierten Lebenszyklen für den Straßenoberbau ist in Abb. 3.5 der technische Lebenszyklus für einen Asphaltoberbau mit einer kurzen Lebensdauer der Deckschicht dargestellt. Dieser enthält neben den Erhaltungsintervallen der Ausrüstung und Konstruktion die dazugehörigen Streuungen und Funktionen der Zustandsverläufe abhängig von der Zeit. Die restlichen Standardlebenszyklen sind in Anhang A zu finden.

**Tab. 3.2:** Auswahlparameter der standardisierten Lebenszyklen des Straßenoberbaus (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 109])

Parameter	Asphalt, konventionelle Deckschicht	Asphalt, kurze Lebensdauer Deckschicht	Asphalt, lange Lebensdauer Deckschicht	Beton	Beton mit Asphaltdeckschicht
Gesamtnutzungsdauer	44 Jahre	36 Jahre	38 Jahre	44 Jahre	36 Jahre
Bauweise	flexibel und halbstarr	flexibel und halbstarr	flexibel und halbstarr	starr	starr
Art Deckschicht	AC deck, SMA	PA, BBTM	MA	Beton	AC deck, SMA

Die Auswahl der im Standardlebenszyklus enthaltenen Erhaltungsmaßnahmen erfolgt auf Grundlage der Ausführungen von Weninger-Vycudil et al. [92] und Weninger-Vycudil und Brozek [86]. Dabei ist zu beachten, dass die vorgeschlagenen Maßnahmen eine umfassende Verbesserung des Zustands bewirken sollen. Ziel ist die Erwirkung der Zustandsnote 1, was allerdings nicht mit jeder Maßnahme möglich ist. Zur Verbesserung des Ausrüstungsindikator stehen Deckschichtmaßnahmen mit Erneuerung der Deckschicht oder der Deck- und Binderschicht bei Asphaltoberbau zur Erreichung der Zustandsnote 1 zur Verfügung. Bei Betondecken ist die Verbesserung der Ausrüstung mit einer (umfangreichen) Auswechslung von Betonplatten bis zur Zustandsnote 2 möglich. Der Zustand des Konstruktionsindikators des Straßenoberbaus kann bei Asphaltoberbau durch Verstärkungsmaßnahmen mit Erneuerung der Deck- und Binderschicht inkl. teilweisen Ersatz der gebundenen Tragschicht auf Zustandsnote 1 angehoben werden. Bei Betondecken führt eine umfangreiche Auswechslung der Betonplatten nur zu einer Zustandsverbesserung auf Note 2. Die Zustandsnote 1 ist durch diese Maßnahme deswegen nicht erreichbar, weil bei einer Auswechslung nur die geschädigten Platten betroffen sind und der restliche Straßenoberbau im Regelfall unberührt bleibt.



**Abb. 3.5:** Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Asphalt, kurze Lebensdauer Deckschicht (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 111])

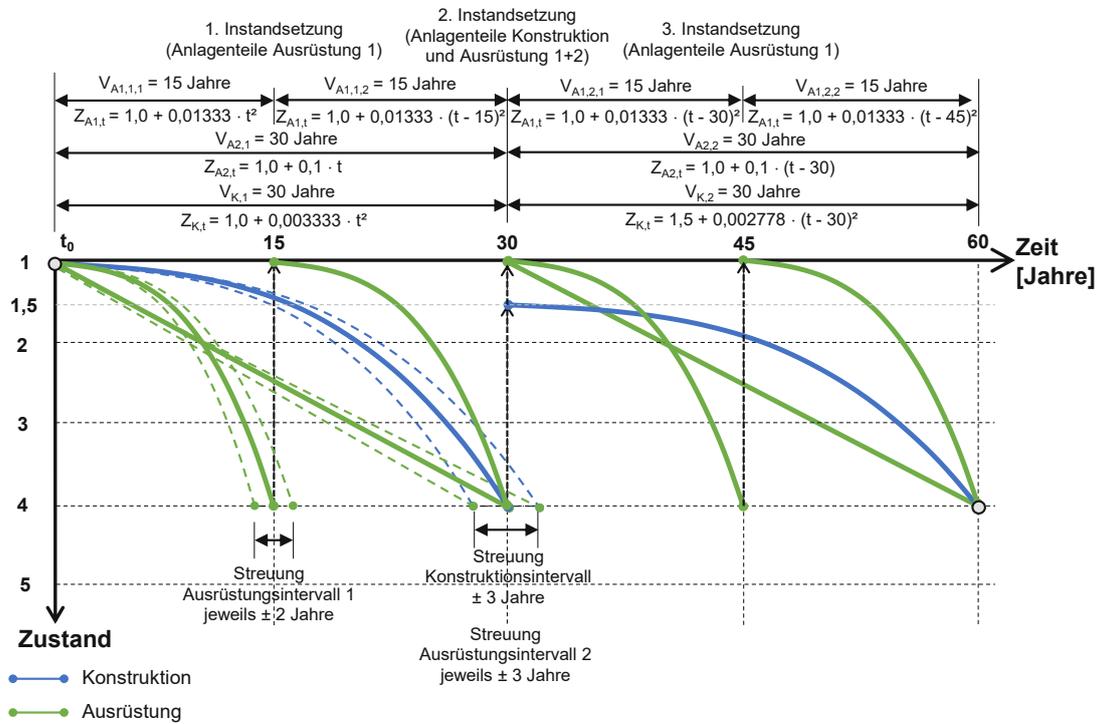
### Brücken

Für die standardisierten Lebenszyklen von Brücken der Straßeninfrastruktur konnten kaum aktuell gültige Literaturquellen im Zuge des Forschungsprojekts gefunden werden. Aus diesem Grund basieren die hier vorgeschlagenen Standardlebenszyklen primär auf den Ergebnissen von BMS-Anwendungen der ASFINAG und durchgeführten Datenauswertungen zur Ermittlung von Degradationskurven auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Datenbanken. Die durchgeführten Prozessschritte (Parameterselektion mit Random-Forest-Analyse, Clusterung mit Entscheidungsbaumanalyse und Erstellung von Degradationskurven) können in Abschnitt 5.1.3 des Endberichts [90] zum Forschungsprojekt *TAniA* nachgelesen werden.

Diskussionen mit den Brückenexperten der Straßenerhalter und einer ingenieurmäßigen Bewertung führten zu drei wesentlichen Standardlebenszyklen mit Nutzungsdauern von 60, 70 und 80 Jahren. Die Auswahl des entsprechenden technischen Lebenszyklus sollte dabei insbesondere anhand der Bauweise des Tragwerks und dem mittleren Schwerverkehr gemäß der Einteilung in Tab. 3.3 erfolgen. Dabei dient stets die geringste Gesamtnutzungsdauer als Referenz. Eine Anpassung der vorgeschlagenen Standardlebenszyklen ist natürlich anhand von länder- oder objektspezifischen Vorgaben möglich. Abb. 3.6 zeigt als Beispiel einen standardisierten Lebenszyklus für ein Brückenobjekt mit einer geplanten Nutzungsdauer von 60 Jahren inkl. voraussichtlichen Erhaltungsintervallen und Funktionen der Zustandsverläufe. Dabei ist zu erkennen, dass die Ausrüstung aufgrund der maßgebenden Erhaltungsintervalle nochmal zusätzlich in zwei Gruppen unterteilt wurde – jene mit einem längeren Erhaltungsintervall von ca. 30 Jahren (Randbalken, Abdichtung/Entwässerung, Lager, Geländer, Beleuchtung, Fahrzeugrückhaltesysteme) und jene mit einem kurzen Erhaltungsintervall von ca. 15 Jahren (Fahrbahnübergangskonstruktion, Korrosionsschutz, sonstige Ausrüstung).

**Tab. 3.3:** Auswahlparameter der standardisierten Lebenszyklen für Brücken (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 115])

Parameter	Gesamtnutzungsdauer		
	60 Jahre	70 Jahre	80 Jahre
mittlerer Schwerverkehr	hoch	mittel	gering
Bauweise Tragwerk (Überbau)	Stahl-, Verbundbrücken	Stahlbeton-, Spannbeton-, Verbundbrücken	Stahlbeton-, Spannbetonbrücken
Erhaltungsintervall Ausrüstung 1	< 15 Jahre	15 bis 18 Jahre	> 18 Jahre
Anzahl Felder	mehr als 3	1 bis 3	1



**Abb. 3.6:** Standardlebenszyklus Brücke – 60 Jahre Nutzungsdauer (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 118])

Anhand der Auswertung der verfügbaren Brückendaten zur Definition von Degradationskurven im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* konnten ebenfalls die typischen Erhaltungsmaßnahmen für die entwickelten Standardlebenszyklen herausgearbeitet werden. Die erreichbare Zustandsnote nach Durchführung der Maßnahme ist dabei jeweils vom Ausmaß und der Intensität abhängig. Für die Bauteile des Ausrüstungs- und Konstruktionsindikators werden folgende Erhaltungsmaßnahmen zur Wiedererreicherung der Zustandsnote 1 bei Ausrüstungsteilen bzw. 1–2 bei Konstruktionsteilen im Lebenszyklus eingeplant:

- Bauteile Ausrüstung 1 – kurze Lebensdauer:
  - Fahrbahnübergangskonstruktion: Tausch bei jeder Instandsetzung

- Fahrbahnbelag: siehe Straßenoberbau auf Seite 72 f.
- Bauteile Ausrüstung 2 – lange Lebensdauer:
  - Lager: Austausch einmal im Standardlebenszyklus
  - Randbalken: einmalig vollständige Erneuerung
  - Abdichtung/Entwässerung: einmal im Standardlebenszyklus Erneuerung der Abdichtung und Instandsetzung der Entwässerung
  - Ausrüstung: einmalig vollständige Erneuerung
- Bauteile Konstruktion:
  - Überbau: einmal Instandsetzung mit eventueller Ertüchtigung
  - Unterbau: einmalige Instandsetzung

### Tunnel

Die Grundlagen für die standardisierten Lebenszyklen von Tunneln bilden, sowohl für die baulichen als auch die elektrotechnischen und maschinellen Anlagenteile, die Ergebnisse der Verkehrsinfrastrukturforschungsprojekte *OPTimal* [82] und *AMBITION* [81]. Daraus ergeben sich zwei wesentliche Standardlebenszyklen mit unterschiedlichen Erhaltungsintervallen. Die Zuteilung zum betreffenden Lebenszyklus kann anhand der Auswahlparameter zur Bauweise, der Verkehrsbelastung bzw. die Erhaltungsintervalle gemäß den Ausführungen in Tab. 3.4 erfolgen. Für die Intervalle der Ausrüstung sind zwei unterschiedliche Erhaltungsintervalle (Ausrüstung mit Lebensdauer bis 10 Jahre und über 10 Jahre) gemäß der Zuordnung in Tab. 3.1 zu berücksichtigen (siehe Abb. 3.7).

**Tab. 3.4:** Auswahlparameter der standardisierten Lebenszyklen für Tunnel (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 119])

Parameter	Gesamtnutzungsdauer	
	63 Jahre	80 Jahre
Erhaltungsintervall	7 Jahre	10 Jahre
Bauweise	Offene Bauweise, Unterflurtrassen	Bergmännische (geschlossene) Bauweise
Verkehrsbelastung	Hoch (Stadttunnel)	Gering bis mittel

Die typischen Erhaltungsmaßnahmen der baulichen sowie elektrotechnischen und maschinellen Anlagenteile der Tunnel basieren auf den Ergebnissen des Forschungsprojekts *OPTimal* [82] und den durchschnittlichen Nutzungsdauern der RVS 13.03.41 [71]. Anhand der Auswertungen der zur Verfügung gestellten Datensätze im *OPTimal*-Projekt ergibt sich ein optimiertes Instandsetzungsintervall der E&M-Ausrüstung von 7 Jahren bzw. 10 Jahren. Dabei sind jedoch nicht immer alle Anlagenteile von einer Maßnahme betroffen. Aufgrund der relativ schnellen Degradation von elektrotechnischen und maschinellen Anlagen ist im Sinne einer Erhaltungsmaßnahme zumeist ein Austausch der gesamten Anlage oder maßgebender Teile erforderlich, um die Zustandsnote 1 wieder zu erreichen. Die Vorschläge für standardisierte Erhaltungsmaßnahmen im Projekt *OPTimal* wurden zur Vereinfachung im Rahmen des Projekts *TAniA* in Prozentwerte des Austauschs von Anlagenteilen je Erhaltungsintervall umgerechnet. Daraus ergeben sich für die beiden Standardlebenszyklen von Tunneln die in Tab. 3.5 sowie in den Abb. 3.7 und A.7 ersichtlichen Verteilungen der Instandsetzungsmaßnahmen.

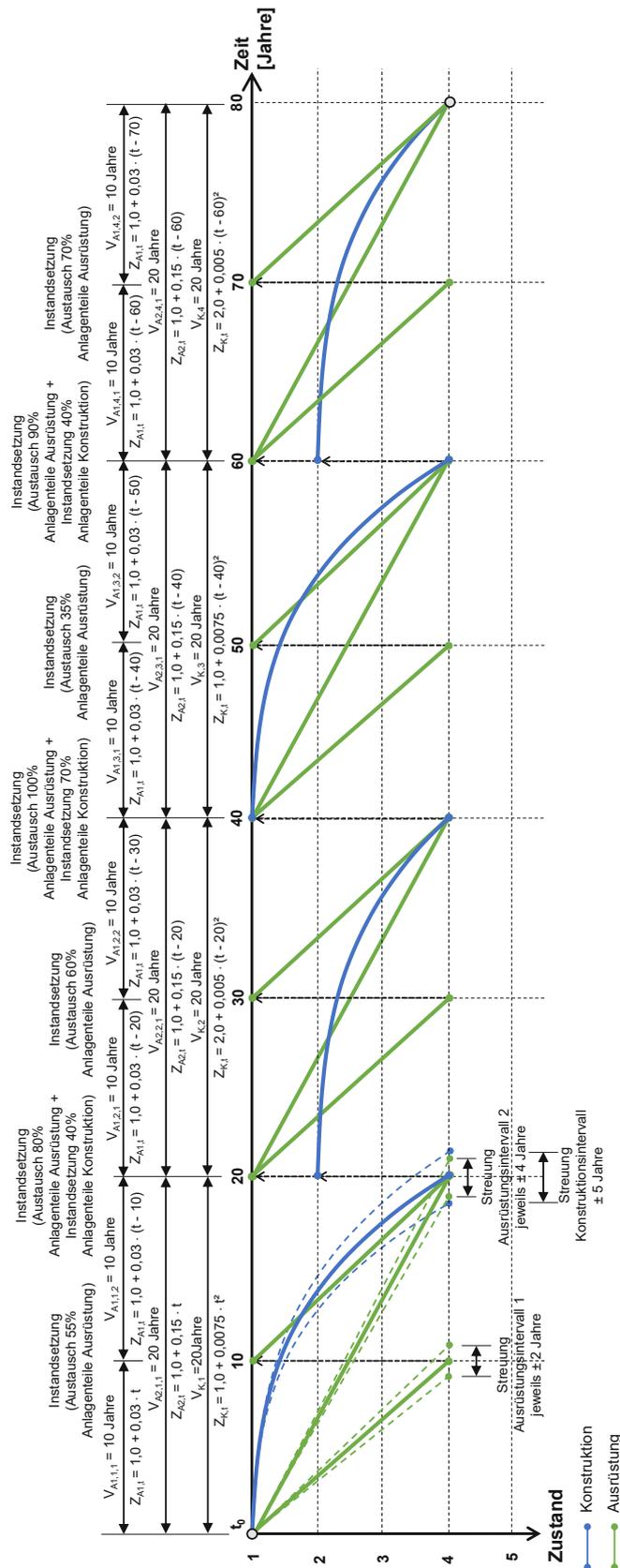


Abb. 3.7: Standardlebenszyklus Tunnel – Bergmännische (geschlossene) Bauweise (modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 120])

**Tab. 3.5:** Anteile der betroffenen Anlagenteile an Erhaltungsmaßnahmen für Tunnel-Standardlebenszyklen (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 120 f.]

Tunnel in offener Bauweise mit Gesamtnutzungsdauer 63 Jahre								
Bauwerksalter [Jahre]	7	14	21	28	35	42	49	56
Anlagenteile E&M-Ausrüstung	50 %	80 %	70 %	60 %	35 %	90 %	50 %	80 %
Anlagenteile Konstruktion			40 %			70 %		
Tunnel in geschlossener Bauweise mit Gesamtnutzungsdauer 80 Jahre								
Bauwerksalter [Jahre]	10	20	30	40	50	60	70	
Anlagenteile E&M-Ausrüstung	55 %	80 %	60 %	100 %	35 %	90 %	70 %	
Anlagenteile Konstruktion		40 %		70 %		40 %		

### 3.3.3 Anpassung von standardisierten Lebenszyklen

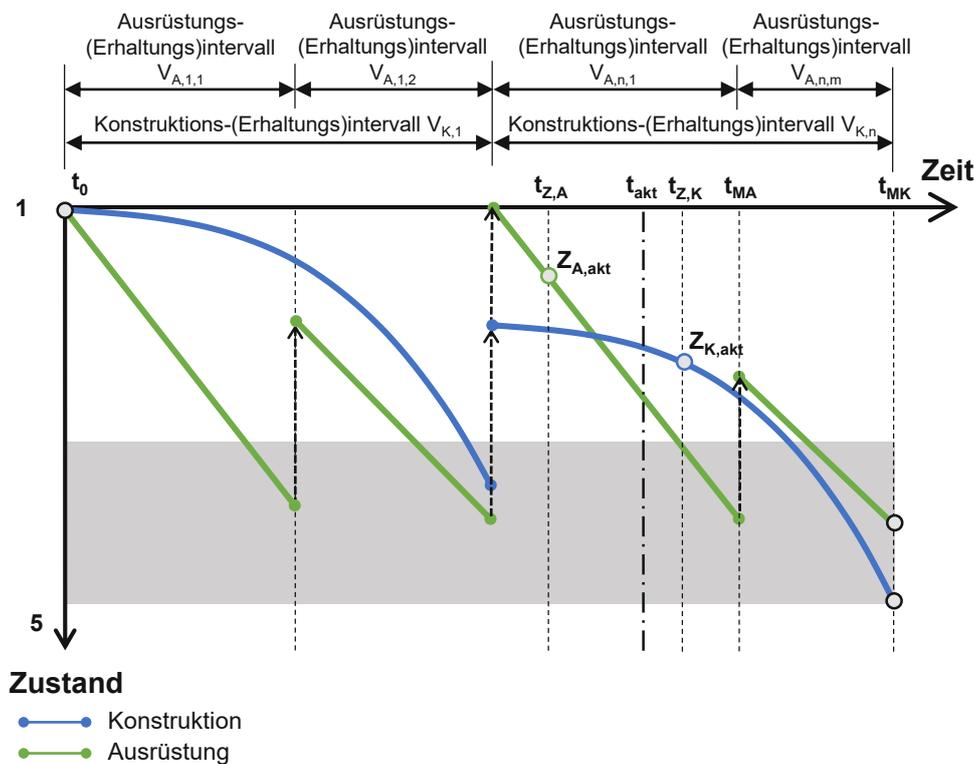
Stehen dem Straßenerhalter bzw. -betreiber keine detaillierten Daten aus einem PMS, BMS oder TMS zur Verfügung und spiegelt die Anwendung der vorgeschlagenen Standardlebenszyklen die geplanten Erhaltungsstrategie nicht zufriedenstellend wider, dann besteht die Möglichkeit der dynamischen Anpassung von standardisierten Lebenszyklen. Im Sinne der Berechnung des technischen Anlagenwerts bildet diese Art der Kalibrierung somit einen Mittelweg, bei der auch allgemeine oder nur teilweise vorhandene Degradationskurven eingesetzt werden können. Dabei erfolgt die Kalibrierung von Standardlebenszyklen im Wesentlichen in sechs Schritten.

Den ersten Schritt zur Dynamisierung stellt laut den Projektberichten [89, 90] die generelle Zuordnung eines Standardlebenszyklus für das zu untersuchende Objekt dar. Dies sollte auf Basis einer ingenieurmäßigen Einschätzung erfolgen, kann jedoch bei einer zu großen Anzahl an Objekten auch automatisch über den Errichtungszeitpunkt und regionale Einschätzungen vorgenommen werden. Generell spielen bei der Auswahl die Bauweise, das Material, erwartete Lebensdauern der maßgebenden konstruktiven und ausrüstungstechnischen Anlagenteile und das Alter eine wesentliche Rolle. Für die unterschiedlichen Anlagenarten bedeutet dies, dass folgende Daten der zu untersuchenden Objekte vorhanden sein sollten:

- Straßenoberbau:
  - Bauweise,
  - Art der Deckschicht sowie
  - mittleres Alter der gebundenen Tragschicht,
- Brücke:
  - Material des Überbaus,
  - Alter des Überbaus sowie
  - mittleres Erhaltungsintervall der Ausrüstung,
- Tunnel – baulich:
  - Bauweise sowie
  - Alter des Tunnels,

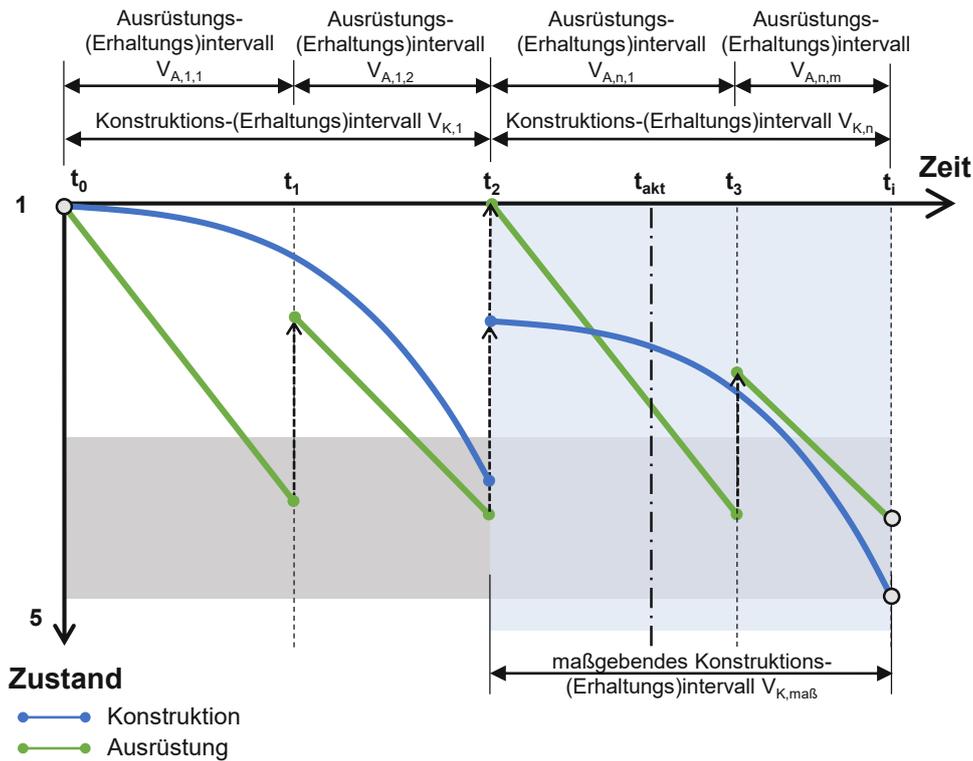
- Tunnel – elektrotechnische und maschinelle Anlagenteile:
  - Umfang der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung sowie
  - mittleres Erhaltungsintervall.

Im Anschluss an die Auswahl des geeigneten Standardlebenszyklus ist die Bestimmung der wesentlichen Zeitpunkte auf Grundlage des Alters bzw. der Zustandsinformationen innerhalb des Lebenszyklus vorzunehmen. Da das aktuelle Alter des Bauwerks ( $t_{\text{akt}}$  [Jahr]) nicht zwangsläufig mit dem vorhandenen Zustand der Konstruktion ( $Z_{K,\text{akt}}$ ) oder Ausrüstung ( $Z_{A,\text{akt}}$ ) übereinstimmt, gilt es die daraus folgenden Zeitpunkte für die weiteren Schritte der Anpassung klar zu unterscheiden. Daher ist der Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Konstruktion ( $t_{Z,K}$  [Jahr]) und der Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Ausrüstung ( $t_{Z,A}$  [Jahr]) separat zu ermitteln. Zusätzlich sind die im Standardlebenszyklus geplanten Zeitpunkte für die nächsten Erhaltungsmaßnahmen an der Konstruktion ( $t_{MK}$  [Jahr]) und an der Ausrüstung ( $t_{MA}$  [Jahr]) von Interesse. Auslöser für eine Erhaltungsmaßnahme an der Ausrüstung kann dabei sowohl der Zustand der Ausrüstung als auch der Zustand der Konstruktion sein. Eine grafische Darstellung der angeführten Zeitpunktdefinitionen ist in Abb. 3.8 zu sehen.



**Abb. 3.8:** Definition der Zeitpunkte für Anpassung des Lebenszyklus (modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 132])

Im nächsten Schritt ist die Bestimmung des aktuellen Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls ( $V_{K,n}$  [Jahre]) erforderlich. Die Basisgröße bildet dabei das aktuelle Alter ( $t_{\text{akt}}$  [Jahr]) des Bauwerks bzw. der maßgebenden Anlagenteile der Konstruktion. Dieses wird in den ausgewählten Standardlebenszyklus eingetragen. Als maßgebend ist jenes Konstruktions-(Erhaltungs)intervall zu sehen, in dem das aktuelle Alter liegt. Abb. 3.9 zeigt das beschriebene Vorgehen für eine Anlage mit dem aktuellen Alter zum Zeitpunkt  $t_{\text{akt}}$  [Jahr]. Ist das aktuelle Alter eines Bauwerks höher als im Standardlebenszyklus vorgesehen, dann ist das letzte Konstruktions-(Erhaltungs)intervall heranzuziehen.



**Abb. 3.9:** Auswahl Konstruktions-(Erhaltungs)intervall (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 126])

Wenn für das maßgebende Anlagenteil der Konstruktion oder dessen Zustandsindikator eine Degradationskurve zur Verfügung steht, dann ist als nächstes die Kalibrierung des aktuellen Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls möglich. Hierfür ist zuerst der Zeitpunkt des letzten ausgezeichneten Zustands (Zustandsnote = 1) ( $t_{K,Z=1}$  [Jahr]) als Funktion des Zustands ( $Z_{K,best}$ ) zu ermitteln – dieser kann aus der Errichtung oder der letzten Erhaltungsmaßnahme stammen:

$$t_{K,Z=1} = f(Z_{K,best}) \quad (3.2)$$

Zusätzlich errechnet sich der Zeitpunkt des nächsten kritischen Zustands ( $t_{K,Z=krit}$  [Jahr]), welcher zur Auslösung einer Erhaltungsmaßnahme führt, auf Basis des kritischen Zustands der Konstruktion ( $Z_{K,krit}$ ) aus der Degradationskurve als Funktion des Zustands wie folgt:

$$t_{K,Z=krit} = f(Z_{K,krit}) \quad (3.3)$$

Die Differenz zwischen den beiden Zeitpunkten stellt anschließend die Dauer des Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls ( $V_{K,n}$  [Jahre]) dar:

$$V_{K,n} = t_{K,Z=krit} - t_{K,Z=1} \quad (3.4)$$

Diese ist in weiterer Folge für die Anpassung heranzuziehen. Das ermittelte Konstruktions-(Erhaltungs)intervall ( $V_{K,n}$  [Jahre]) sollte dabei innerhalb des Standardkonstruktions-(Erhaltungs)intervalls ( $V_{K,n,stand}$  [Jahre])  $\pm$  der Streuung des Intervalls ( $SV_{K,n,stand}$  [Jahre]) liegen:

$$[V_{K,n,stand} - SV_{K,n,stand}] \leq V_{K,n} \leq [V_{K,n,stand} + SV_{K,n,stand}] \quad (3.5)$$

Trifft dies nicht zu, so entspricht es nicht der zuvor getroffenen ingenieurmäßigen Einschätzung. Für diesen Fall bestehen ansonsten zwei Möglichkeiten zum weiteren Vorgehen. Einerseits kann der gewählte Standardlebenszyklus nochmals unter Bezugnahme auf das errechnete Konstruktions-(Erhaltungs)intervall geändert und andererseits kann zur Einhaltung der Rahmenbedingungen mit den minimalen bzw. maximalen Konstruktions-(Erhaltungs)intervallen weitergearbeitet werden.

Nachdem die Dauer des Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls ermittelt wurde, erfolgt die Bestimmung des Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervalls. Weist das maßgebende Konstruktions-(Erhaltungs)intervall nur ein Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervall auf, so ist dieses zu wählen. Bei mehreren Erhaltungsintervallen der Ausrüstung ist die Auswahl auf Basis des aktuellen Zustands des maßgebenden Anlagenteils der Konstruktion ( $Z_{K,akt}$  [Jahr]) zu treffen, da das Alter der Anlage vom aktuellen Zustand abweichen kann. Dieses Vorgehen ist in Abb. 3.10 dargestellt.

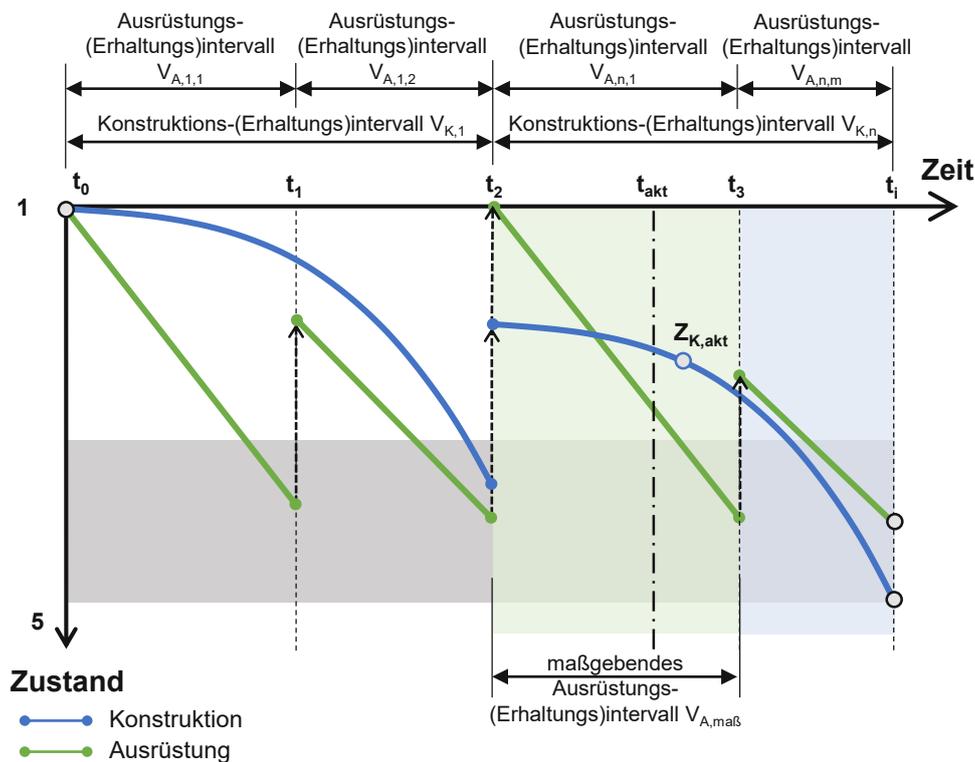


Abb. 3.10: Auswahl Ausrüstungsintervall (modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 128])

Unter Heranziehung einer Degradationskurve für das maßgebende Ausrüstungsteil kann die Kalibrierung des Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervalls ( $V_{A,n,m}$  [Jahre]) vorgenommen werden. Dies funktioniert nach dem gleichen Prinzip, wie bereits bei der Anpassung des Konstruktionsintervalls. Zuerst werden der Zeitpunkt des letzten besten Zustands ( $t_{A,Z=1}$  [Jahr]) – entweder nach der Errichtung oder der letzten durchgeführten Erhaltungsmaßnahme – und der Zeitpunkt des nächsten kritischen Zustands ( $t_{A,Z=krit}$  [Jahr]) zur Durchführung einer Erhaltungsmaßnahme ermittelt:

$$\begin{aligned} t_{A,Z=krit} &= f(Z_{A,krit}) \\ t_{A,Z=1} &= f(Z_{A,best}) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Auch hier ergibt die Differenz zwischen den beiden Zeitpunkten die Dauer des Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervalls ( $V_{A,n,m}$  [Jahre]) auf Basis der Degradationskurve wie folgt:

$$V_{A,n,m} = t_{A,Z=krit} - t_{A,Z=1} \quad (3.7)$$

Wie bereits beim Konstruktions-(Erhaltungs)intervall, empfiehlt es sich auch beim Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervall die Anpassung nur innerhalb der Grenzwerte (Länge Standardausrüstungsintervall ( $V_{A,n,m,stand}$  [Jahre])  $\pm$  Streuung ( $SV_{A,n,m,stand}$  [Jahre])) durchzuführen:

$$[V_{A,n,m,stand} - SV_{A,n,m,stand}] \leq V_{A,n,m} \leq [V_{A,n,m,stand} + SV_{A,n,m,stand}] \quad (3.8)$$

Ergibt die Berechnung aus der Degradationskurve ein größeres oder kleineres Intervall außerhalb der Grenzwerte, dann ist die Verwendung der minimalen bzw. maximalen Ausrüstungsintervalle anzustreben.

Abschließend lässt sich der Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme auf der Grundlage der zuvor gewählten Konstruktions- bzw. Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervalle berechnen. Dabei ergibt sich die Dauer bis zur nächsten durchzuführenden Maßnahme aus dem jeweils aktuellen Zustand des maßgebenden Anlagenteils der Konstruktion und der Ausrüstung. Daraus ergeben sich grundsätzlich drei wesentliche Dauern für die Diskussion bzw. Anpassung des Lebenszyklus. Nämlich einerseits die Dauer bis zur nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme auf Grund des Zustands der Konstruktion ( $D_{K,MK}$  [Jahre]) anhand der Differenz der Zeitpunkte der nächsten Erhaltungsmaßnahme der Konstruktion ( $t_{MK}$  [Jahr]) und des aktuellen Zustands des maßgebenden Anlagenteils der Konstruktion ( $t_{Z,K}$  [Jahr]):

$$D_{K,MK} = t_{MK} - t_{Z,K} \quad (3.9)$$

Auf der anderen Seite lässt sich die Dauer bis zur nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme auch auf Basis des Zustands der Ausrüstung ( $D_{A,MK}$  [Jahre]) ermitteln. Diese ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme der Konstruktion ( $t_{MK}$  [Jahr]) und dem aktuellen Zustand des maßgebenden Anlagenteils ( $t_{Z,A}$  [Jahr]) der Ausrüstung wie folgt:

$$D_{A,MK} = t_{MK} - t_{Z,A} \quad (3.10)$$

Zusätzlich ist die Dauer bis zur nächsten Erhaltungsmaßnahme der Ausrüstung auf Grund des Zustands der Ausrüstung ( $D_{A,MA}$  [Jahre]) erforderlich, welche sich aus dem Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme der Ausrüstung ( $t_{MA}$  [Jahr]) und dem Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Ausrüstung ( $t_{Z,A}$  [Jahr]) ermitteln lässt:

$$D_{A,MA} = t_{MA} - t_{Z,A} \quad (3.11)$$

Zur Veranschaulichung sind die drei beschriebenen Dauern in Abb. 3.11 allgemein dargestellt.

Für die Wahl der nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme ist es empfehlenswert, die kürzeste der zuvor berechneten Dauern heranzuziehen. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Auslöser die Anlagenteile der Konstruktion oder Ausrüstung sind. Eine Änderung der somit ermittelten dynamischen Lebenszyklen obliegt grundsätzlich den jeweiligen Straßenerhaltern und kann auf Basis der vorhandenen Erfahrungen und Experteneinschätzungen erfolgen. Im Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90] können zusätzliche Empfehlungen für häufig auftretende Fälle nachgelesen werden.

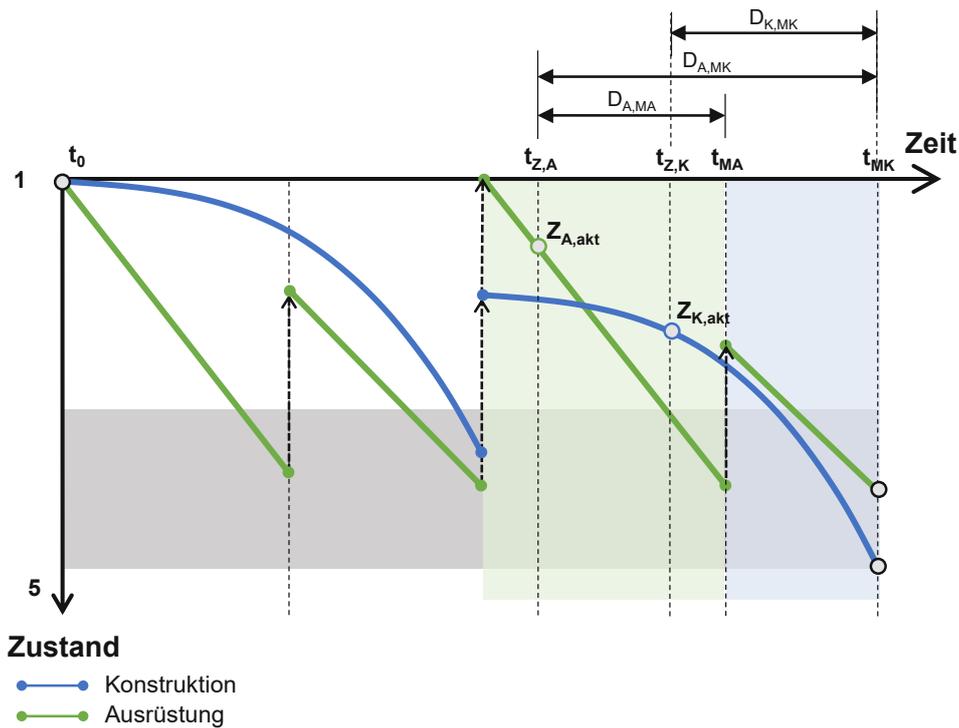


Abb. 3.11: Definition der Dauer bis zur nächsten Erhaltungsmaßnahme (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 130])

### 3.4 Ermittlung des technischen Anlagenwert

Unter Bezugnahme auf die zuvor beschriebenen Eingangsgrößen und vorhandenen Daten der Straßeninfrastruktur kann die Berechnung des technischen Anlagenwerts erfolgen. Hierfür ist im ersten Schritt eine Analyse der bestehenden Inventar- und Zustandsdaten für die gewünschte Betrachtungsebene durchzuführen, welche die Berechnungsmöglichkeiten für die weiteren Schritte aufzeigt. Sind die verfügbaren Daten in ausreichender Qualität und Quantität vorhanden, kann im nächsten Schritt der Erneuerungswert (= maximal erreichbarer technischer Anlagenwert) entweder für das Gesamtobjekt oder für die einzelnen Anlagenteile berechnet werden. Anschließend erfolgt die Auswahl des Zustandsprognosemodells in Abhängigkeit von der Anwendung der möglichen Erhaltungsmanagementsysteme (PMS, BMS, TMS) bzw. den aktuellen Zustandsdaten auf Bauteilebene oder als Gesamtnote für eine Anlage. Ermöglichen die Daten eine Zustandsprognose auf Bauteilebene unter einer etwaigen Berücksichtigung von Degradationskurven, so führt der nächste Schritt zur Ermittlung des technischen Anlagenwerts je Anlagenteil. Diese können in weiterer Folge zum monetären und normierten technischen Anlagenwert für den Konstruktions- und Ausrüstungsindikator zusammengefasst werden, welche wiederum durch Aufsummieren den technischen Anlagenwert des Gesamtobjekts ergeben. Sind ausschließlich Gesamtnoten für den Zustand der einzelnen Anlagen verfügbar, so ist die Berechnung auf Ebene der Anlagenteile oder Konstruktions- bzw. Ausrüstungsindikatoren nicht möglich. In diesem Fall wird direkt der technische Anlagenwert des Gesamtobjekts generiert, sowohl monetär als auch normiert. Abb. 3.12 zeigt den beschriebenen Prozess als Ablaufdiagramm. Die nachfolgenden Abschnitte gehen auf die einzelnen Schritte des Berechnungsmodells näher ein.

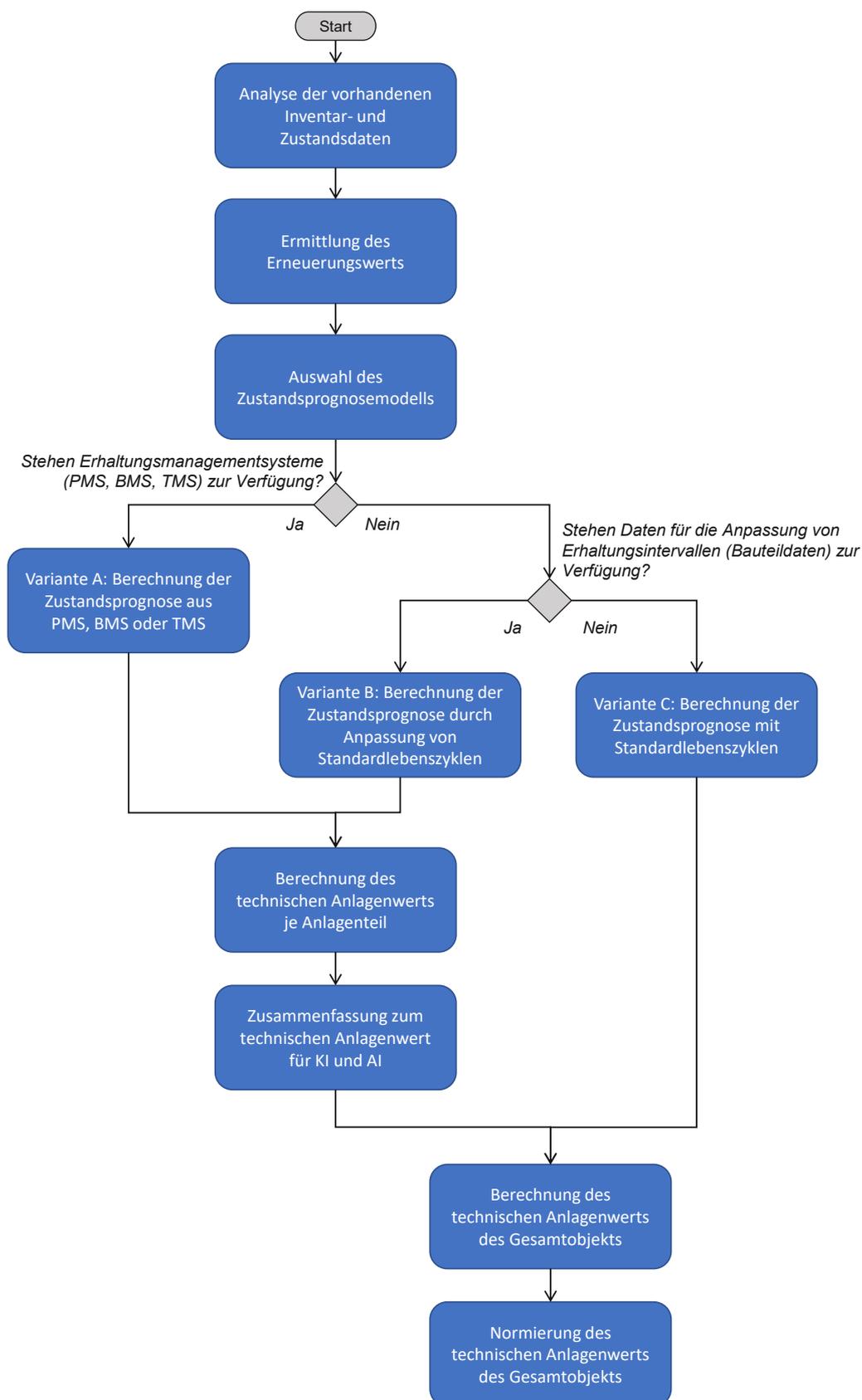


Abb. 3.12: Ablauf zur Berechnung des technischen Anlagenwert

### 3.4.1 Berechnung des Erneuerungswerts

Der Erneuerungswert stellt die Grundlage für eine Berechnung des technischen Anlagenwerts dar. Es handelt sich dabei gemäß dem Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90, S. 35] um einen „*theoretischen monetären Wert, der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgewendet werden muss, um eine Anlage nach dem aktuellen Stand der Technik (technischen Anforderungen), jedoch ohne Berücksichtigung von erhöhten aktuellen funktionalen Anforderungen zu errichten.*“ Er entspricht folglich dem technischen Anlagenwert eines Anlagenteils in neuwertigem Zustand (Zustandsnote 1).

Die Ermittlung dieses Wertes ausgehend von den ursprünglichen Herstellungskosten ist grundsätzlich möglich, jedoch relativ komplex. Zudem sind die Herstellungskosten für ältere Bestandsobjekte in den Datenbanken nur bedingt vorhanden. Aus diesem Grund ist die Berechnung des Erneuerungswerts zu einem bestimmten Zeitpunkt innerhalb des technischen Lebenszyklus unter Heranziehung von aktuellen Kostenschätzungen und Preisbenchmarks der Anlagenteile wesentlich praktikabler. Durch die laufende Aktualisierung der Kostenkennwerte ist eine Indexanpassung und Berücksichtigung von neuen technischen Anforderungen grundsätzlich gegeben, weshalb eine Untersuchung der bisherigen Entwicklung entfallen kann.

Im Rahmen des Forschungsprojekts *TAniA* betrifft die Ermittlung des technischen Anlagenwerts jedoch nicht nur den Verlauf in der Vergangenheit, sondern insbesondere die zukünftige Entwicklung unter Annahme einer bestimmten Erhaltungsstrategie. Hierfür ist eine Prognose des Erneuerungswerts mit der Abschätzung einer zukünftigen Indexanpassung und Änderungen von technischen Anforderungen erforderlich. Da jedoch die Vorhersage von zukünftigen Anpassungen des Stands der Technik und deren Auswirkungen auf den Wert dabei rein spekulative Annahmen darstellen, werden diese bei Betrachtung der zukünftigen Entwicklung in weiterer Folge nicht berücksichtigt. Somit setzt sich der Erneuerungswert einer Anlage ( $EW_{t,t_A}$  [€]) aus der Summe der Erneuerungswerte ( $EW_{k,t_A}$  [€]) aller Anlagenteile zum Bezugszeitpunkt inkl. einer mittleren jährlichen Indexanpassung ( $p$  [%]) bzw. dem Abzinsungsfaktor ( $q$ ) zusammen:

$$EW_{t,t_A} = \left( \sum_{k=AT_i} EW_{k,t_A} \right) \cdot \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^{t-t_A} = \left( \sum_{k=AT_i} EW_{k,t_A} \right) \cdot q^{t-t_A} \quad (3.12)$$

Dabei ist  $t$  [Jahr] der Betrachtungszeitpunkt und  $t_A$  [Jahr] der Bezugszeitpunkt, also der Anfang des Betrachtungszeitraums. Die Ermittlung der Erneuerungswerte je Anlagenteil ( $EW_{k,t_A}$  [€]) hängt von den verfügbaren Kostenkennwerten ab. In Österreich sind diese durch Baukennzahlen je Einheit des Anlagenteils gegeben. Beispielsweise ergibt sich der Erneuerungswert der Fahrbahnübergangskonstruktion durch die Multiplikation des Einheitspreises mit der Länge des Fahrbahnübergangs.

Zur Verwendung von Kostenkennwerten als Basis für den Erneuerungswert ist noch anzumerken, dass eine natürliche Streuung aufgrund unterschiedlicher Einflussfaktoren durchaus gegeben ist. Diese können für Einzelbetrachtungen zu deutlichen Abweichungen von den tatsächlichen Kosten für Bau- bzw. Erhaltungsmaßnahmen führen. In diesen Fällen kann eine ingenieurmäßige Beurteilung und Anpassung von Kennwerten erforderlich sein. Für eine gesamtheitliche Betrachtung auf Abschnitts- oder Netzebene stellen diese gemittelten Kostenkennwerte jedoch eine gute Grundlage dar.

Für die Berechnungen innerhalb des österreichischen höherrangigen Straßennetzes wurden im Projekt *TAniA* die Kostenkennwerte und Einheitspreise inkl. Nebenarbeiten aus den Erhaltungsmanagementsystemen mit Preisbasis 2018 herangezogen, welche auf den vertraulichen Baukennzahlen der ASFINAG [5] basieren und deswegen an dieser Stelle nicht veröffentlicht werden können.

### 3.4.2 Prognose des Zustandsverlauf

Nachdem die Ausgangsbasis für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts durch die Definition des Erneuerungswerts erfolgt ist, gilt es im nächsten Schritt, den Zustandsverlauf zu prognostizieren. Die Zustandsprognose kann abhängig von den verfügbaren Daten der Straßenerhalter auf drei unterschiedliche Arten erfolgen (siehe Abschnitt 3.3):

- Variante A – Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen (PMS, BMS, TMS),
- Variante B – Kalibrierte Standardlebenszyklen sowie
- Variante C – Standardlebenszyklen.

Abhängig von der ausgewählten Variante zur Prognose der Lebenszyklen sind die Maßnahmen bereits ingenieurmäßig bewertet und an ein geplantes Erhaltungsszenario angepasst (Variante A) oder anhand der Auswertung von bestehenden Projekten und Richtlinien zu Regelnutzungsdauern eingeplant (Variante B bzw. C). Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 3.3 wurde in Variante B und C das Erreichen der Zustandsnote 4 als Auslöser für die Umsetzung einer Erhaltungsmaßnahme definiert. Wichtig ist dabei, dass bei einer Anpassung der Erhaltungintervalle die Auswirkungen auf andere Bauteile (Stichwort: Abhängigkeits-Erhaltungs-Matrix) berücksichtigt werden.

Zusätzlich ist das Wissen über die Wirkung der Erhaltungsmaßnahme auf den Zustand notwendig. Im Zuge des Projekts *TAniA* wurde festgelegt, dass für eine einheitliche Betrachtung jene Maßnahmen in der Berechnung Berücksichtigung finden, die den Zustand nach Möglichkeit wieder auf Zustandsnote 1 (in Ausnahmefälle auf Zustandsnote 2) anheben. Demzufolge werden kleinere Instandsetzungen nicht einbezogen, die den Zustand nur um einen Notengrad verbessern (z. B. von Zustand 4 auf Zustand 3). Eine Ausnahme stellt dabei die Prognose mit Variante A – Lebenszyklenbetrachtung über Erhaltungsmanagementsysteme wie PMS, BMS und TMS – dar, da bei dieser auch Maßnahmen mit geringfügiger Zustandsverbesserung bewertet werden.

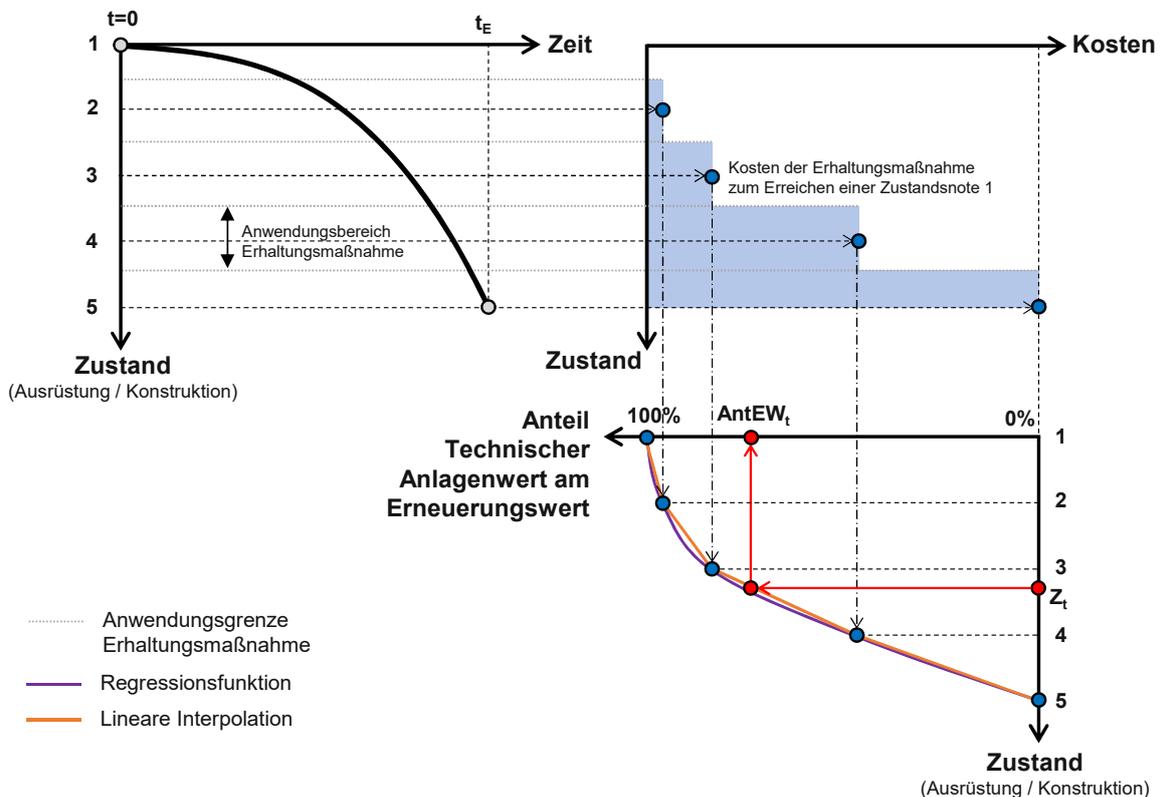
### 3.4.3 Quantitativer Zusammenhang zwischen technischem Anlagenwert und Zustand

Die generierte Zustandsprognose ermöglicht in weiterer Folge die Analyse des Zusammenhangs zwischen Wertverlust und Zustand. Hierfür spielen das Wissen über die möglichen Erhaltungsmaßnahmen an den betreffenden Bauteilen und die dabei entstehenden Kosten eine wesentliche Rolle.

Zur Ermittlung der Kosten für die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen besteht die Möglichkeit, wie bereits beim Erneuerungswert, auf die repräsentativen Kostenkennwerte zurückzugreifen. Sollten diese Daten derzeit nicht zur Verfügung stehen, dann können Daten von vergangenen Maßnahmen ebenfalls Anwendung finden. Dabei ist jedoch eine etwaige Diskontierung der vorhandenen Maßnahmenkosten zu beachten. Im Falle, dass auch diese Informationen nicht in ausreichender Qualität verfügbar sind, können Kostenansätze aus aktuell gültigen Normen, Regelwerken oder ähnlichen Literaturquellen herangezogen werden. Die Autorin möchte an dieser Stelle jedoch den Vorschlag des Forschungsteams hervorheben, dass für die Anwendung des technischen Anlagenwerts in einer aussagekräftigen Qualität die Entwicklung eigener Kostendaten bevorzugt werden sollte.

Sind sowohl die möglichen Erhaltungsmaßnahmen und deren Wirkung auf den Zustandsverlauf, als auch die dadurch entstehenden Kosten bekannt, dann ist die Entwicklung eines Kosten-Zustands-Diagramms möglich. Hierfür ist zumindest der punktuelle Zusammenhang von Zustand und Kosten entscheidend. Durch die Zuordnung der Erhaltungsmaßnahmen zu den

auslösenden Zustandsnoten und das Wissen über die dadurch entstehenden Kosten kann jeder Zustandsnote ein Kostenanteil zugerechnet werden. Ermittelt man im Anschluss die Differenz aus dem Erneuerungswert (maximal erreichbarer technischer Anlagenwert) und den Kosten für die Erhaltungsmaßnahme, so erhält man für jede Zustandsnote den verbleibenden Anteil des technischen Anlagenwerts. Mittels Division des verbleibenden Anteils durch den Erneuerungswert, erhält man einen normierten Faktor zur Berechnung des technischen Anlagenwerts ( $TAW$  [€]) auf Basis des Erneuerungswerts und des Zustands:  $TAW = f(EW; Z)$ . Für den Verlauf des Zusammenhangs zwischen den ermittelten Punkten ist der Einsatz einer Regressionsfunktion oder die Ableitung linearer Zusammenhänge zwischen benachbarten Punkten möglich. Diese Vorgehensweise ist in Abb. 3.13 schematisch dargestellt. Aus dem gegebenen Zusammenhang ist zu erkennen, dass für ein Bauteil in Zustandsnote 1 (neuwertiger Zustand), bei dem keine Erhaltungsmaßnahmen erforderlich sind, auch keine Minderung des Erneuerungswertes gegeben ist. Somit beträgt der technische Anlagenwert zu diesem Zeitpunkt 100 % des Erneuerungswerts. Erreicht der Zustand jedoch die Zustandsnote 5, dann sind die kompletten Kosten für eine Erneuerung zu berücksichtigen, wodurch der technische Anlagenwert 0 % des Erneuerungswerts entspricht.



**Abb. 3.13:** Zusammenhang Zustand und technischer Anlagenwert – stufenförmig (rechts oben) und interpoliert (rechts unten) (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 163])

In Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* wurden diese Zusammenhänge auf Basis der durch die Auftraggeber zur Verfügung gestellten Daten für die einzelnen Anlagenteile der Bauwerke ermittelt. Dabei hat sich durch die ingenieurmäßige Bewertung und durch Diskussionen mit den Fachexperten der Auftraggeber gezeigt, dass eine lineare Interpolation zwischen den berechneten Werten eine bessere Annäherung an die Realität abbildet. Durch eine größere Datengrundlage und eine höhere Qualität könnte dies in Zukunft jedoch angepasst werden. Es sei hierbei

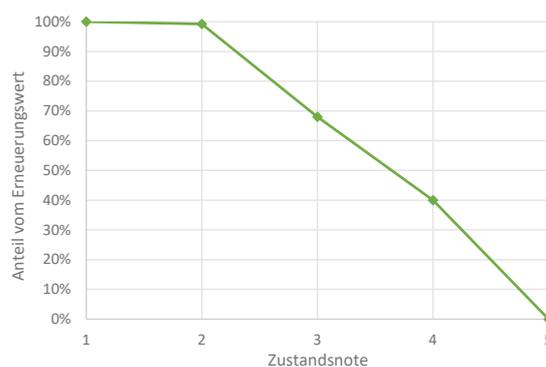
darauf hingewiesen, dass die nachfolgenden Empfehlungen für den Zusammenhang zwischen dem technischen Anlagenwert und dem Zustand der Anlagenteile einen qualitativen Verlauf der Funktionen darstellen. Diese sollten anhand einer ingenieurmäßigen Überprüfung an die örtlichen Preise und Gegebenheiten angepasst werden.

### Straßenoberbau

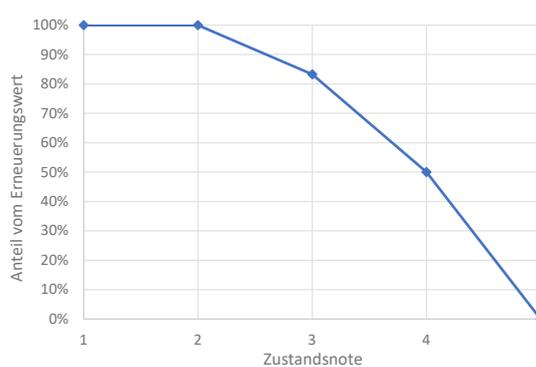
Im Bereich des Straßenoberbaus kann die Auswertung der Zusammenhänge für die einzelnen Schichten entfallen, da die maßgebenden Erhaltungsmaßnahmen die gesamten Bauteile des Konstruktions- oder Ausrüstungsindikators betreffen. Anhand der Auswertung der zur Verfügung gestellten Datenbanken ergeben sich die in Tab. 3.6 dargestellten, verbleibenden prozentuellen Anteile des technischen Anlagenwerts ausgehend vom Erneuerungswert bezogen auf die Zustandsnoten. Die sich aus den ermittelten Punkten ergebenden Zustandsverläufe mit linearen Funktionen sind in Abb. 3.14 grafisch abgebildet. Es ist dabei klar zu erkennen, dass beim Konstruktionsindikator erst ab dem Erreichen der Zustandsnote 3 ein Wertverlust bedingt durch erforderliche Erhaltungsmaßnahmen entsteht. Die Anlagenteile der Ausrüstung zeigen bereits ab der Zustandsnote 2 eine geringe Wertminderung durch die Erfordernis von kleineren Instandhaltungsmaßnahmen, um wieder einen neuwertigen Zustand zu erlangen.

**Tab. 3.6:** Qualitativer Zusammenhang zw. technischem Anlagenwert und Zustand für den Straßenoberbau (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 166])

Anlagenteil	Zustandsnote				
	1	2	3	4	5
Ausrüstungsindikator (Substanzwert Decke & Gebrauchswert)	100,0 %	99,2 %	68,0 %	40,0 %	0,0 %
Konstruktionsindikator (Substanzwert)	100,0 %	100,0 %	83,3 %	50,0 %	0,0 %



(a) Verlauf Ausrüstungsindikator



(b) Verlauf Konstruktionsindikator

**Abb. 3.14:** Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für den Straßenoberbau (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90])

### Brücken

Die Auswertung für den Anlagentyp der Brücken basiert auf der Zuordnung der wesentlichen Anlagenteile zum Ausrüstungs- oder Konstruktionsindikator. Dabei ist gegenüber dem Straßenoberbau bereits ab Zustandsnote 4 ein fast gänzlicher Wertverlust zu erkennen. Dies ist dadurch bedingt, dass bei Brücken aus Sicherheitsgründen bereits ab diesem Zustand große Investitionen

durch Erhaltungsmaßnahmen berücksichtigt werden, um das Erreichen der Zustandsnote 5 zu vermeiden. Zusätzlich hat sich auch bei Brücken gezeigt, dass bei einem guten Zustand (Note 1 und 2) nur eine geringe Wertminderung aufgrund von Abweichungen oder kleinen Instandhaltungen auftritt. Anhand dieser beiden Erkenntnisse ergibt sich für den Zusammenhang von Zustand und Anteil des technischen Anlagenwerts für die Ausrüstungsteile von Brücken ein annähernd S-förmiger Verlauf. Anders verhält es sich bei den Anlagenteilen der Konstruktion (Unterbau und Überbau). Da diese Bauteile wesentlich zur Trag- und Standsicherheit des Bauwerks beitragen und innerhalb des technischen Lebenszyklus nicht gänzlich ersetzt werden, sind hier hauptsächlich Instandsetzungen zu berücksichtigen. Ein tatsächlicher Ersatz des Unter- oder Überbaus mit den vollen Erneuerungskosten würde in diesem Fall einem kompletten Neubau der Brücke sehr nahekommen und wäre aus volkswirtschaftlicher Sicht nur bei einem extrem schlechten Zustand (Zustandsnote 5) sinnvoll. Daher wird davon ausgegangen, dass bis zur Zustandsnote 4 umfangreiche (Beton-)Instandsetzungen vorgenommen werden, weshalb sich der technische Anlagenwert aus dem Erneuerungswert abzüglich der Kosten für die Instandsetzungen ermitteln lässt. Die aus den verfügbaren Datensätzen ermittelten Prozentwerte je Zustandsnote sind in Tab. 3.7 ersichtlich. Für den Zusammenhang des Fahrbahnbelags im Bereich von Brücken ist der Verlauf des Ausrüstungsindikators für den Straßenoberbau zu berücksichtigen.

**Tab. 3.7:** Qualitativer Zusammenhang zw. technischem Anlagenwert und Zustand für Brücken (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 166])

Anlagenteil	Zustandsnote				
	1	2	3	4	5
<b>Ausrüstungsindikator</b>					
Randbalken	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
Fahrbahnübergangskonstruktion	100,0 %	90,0 %	10,0 %	0,0 %	0,0 %
Lager	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
Abdichtung und Entwässerung	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
Sonstige Ausrüstung	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
<b>Konstruktionsindikator</b>					
Unterbau	100,0 % Betonkubatur abzüglich 0,0 % BI <sup>1</sup>	20,0 % BI <sup>1</sup>	50,0 % BI <sup>1</sup>	100,0 % BI <sup>1</sup>	0,0 %
Überbau	100,0 % Betonkubatur abzüglich 0,0 % BI <sup>1</sup>	20,0 % BI <sup>1</sup>	50,0 % BI <sup>1</sup>	100,0 % BI <sup>1</sup>	0,0 %

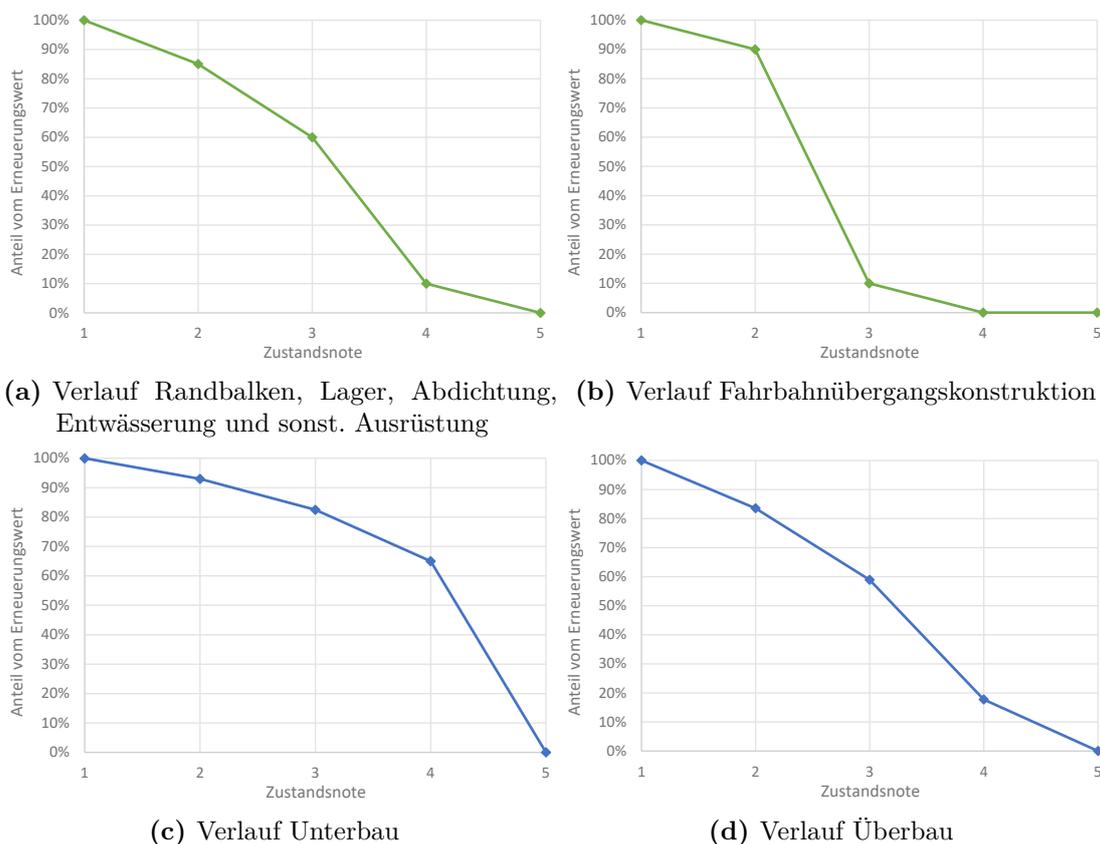
<sup>1</sup> Kosten für Betoninstandsetzung

Abb. 3.15 bildet die Zusammenhänge zwischen den Zustandsnoten und dem Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert mit linearer Interpolation gemäß den Ergebnissen im *TAniA*-Endbericht [90] ab. Die Bauteile Randbalken, Lager, Abdichtung/Entwässerung und sonstige Ausrüstung zählen gemäß der Standardlebenszyklen zu jenen Ausrüstungsteilen die innerhalb des technischen Lebenszyklus des Bauwerks nur einmal ersetzt werden. Davor sind üblicherweise Instandsetzungsmaßnahmen durchzuführen, bis deren Ausmaß eine Erneuerung wirtschaftlich machen. Dies spiegelt sich auch in den Verläufen in Abb. 3.15a wider. Bis zur Zustandsnote 3 werden überwiegend Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich, welche nur einen geringen Wertverlust gegenüber dem Erneuerungswert bewirken. Danach kommt es zu einer

raschen Verminderung des Werts, weil bei Erreichen der Zustandsnote 4 sehr oft bzw. bei Zustandsnote 5 immer mit einer Erneuerung zu rechnen ist.

Anders verhält es sich jedoch mit der Fahrbahnübergangskonstruktion, da diese bei fast jeder Instandsetzungsmaßnahme erneuert werden muss. Auf Basis der Datenauswertung hat sich gezeigt, dass die Zustandsverschlechterung bis zur Erneuerung nicht die maßgebende Größe ist, sondern die Abhängigkeit von anderen Anlagenteilen bzw. das Standardintervall für Instandsetzungen. Zumeist befinden sich die Fahrbahnübergangskonstruktionen im Fall des Austauschs noch in einem Zustand besser als Note 3. Aus dem Verlauf in Abb. 3.15b ist dies durch die starke Wertminderung ab Zustandsnote 2 zu erkennen, weil danach mit einer kompletten Erneuerung während der nächsten Maßnahme gerechnet werden muss.

Die Wertminderung bei den Anlagenteilen der Konstruktion ergibt sich im Wesentlichen durch die Instandsetzung. Erst bei Erreichen der Zustandsnote 5 ist eine Erneuerung zielführend, weshalb sich eine große Wertminderung zwischen Note 4 und 5 zeigt. Davor errechnet sich der Wertverlust aus den Kosten der (Beton-)Instandsetzungen. Beim Vergleich von Abb. 3.15c und 3.15d ist zu erkennen, dass die Instandsetzungskosten für den Überbau zwischen Zustandsnote 1 und 4 deutlich höher ausfallen als für den Unterbau.



**Abb. 3.15:** Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für Brücken (modifiziert nach TAniA-Endbericht [90])

### Tunnel

Bei der Betrachtung von Tunneln muss zunächst die Unterscheidung der baulich-konstruktiven sowie der elektrotechnischen und maschinellen Anlagenteile beachtet werden. Diese sind dem Ausrüstungs- oder Konstruktionsindikator zugeordnet. Anhand dieser Unterteilung zeigt Tab. 3.8 den qualitativen Zusammenhang zwischen dem technischen Anlagenwert und der Zustandsnote

je Anlagenteil. Dabei wurde im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* neben den verfügbaren Daten auch auf die Erkenntnisse aus der Auswertung der Brückendaten zurückgegriffen, da im Bereich der Tunnel nur sehr wenige aussagekräftige Kostendaten vorhanden waren. Die Verlaufsdiagramme mit linearer Interpolation zwischen den punktuellen Zusammenhängen sind in Abb. 3.16 ersichtlich. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Fahrbahnbelag zur Vermeidung von Doppelberechnungen bereits im Straßenoberbau enthalten ist und daher dieselben Zusammenhänge zu verwenden sind.

**Tab. 3.8:** Qualitativer Zusammenhang zw. technischem Anlagenwert und Zustand für Tunnel (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 166])

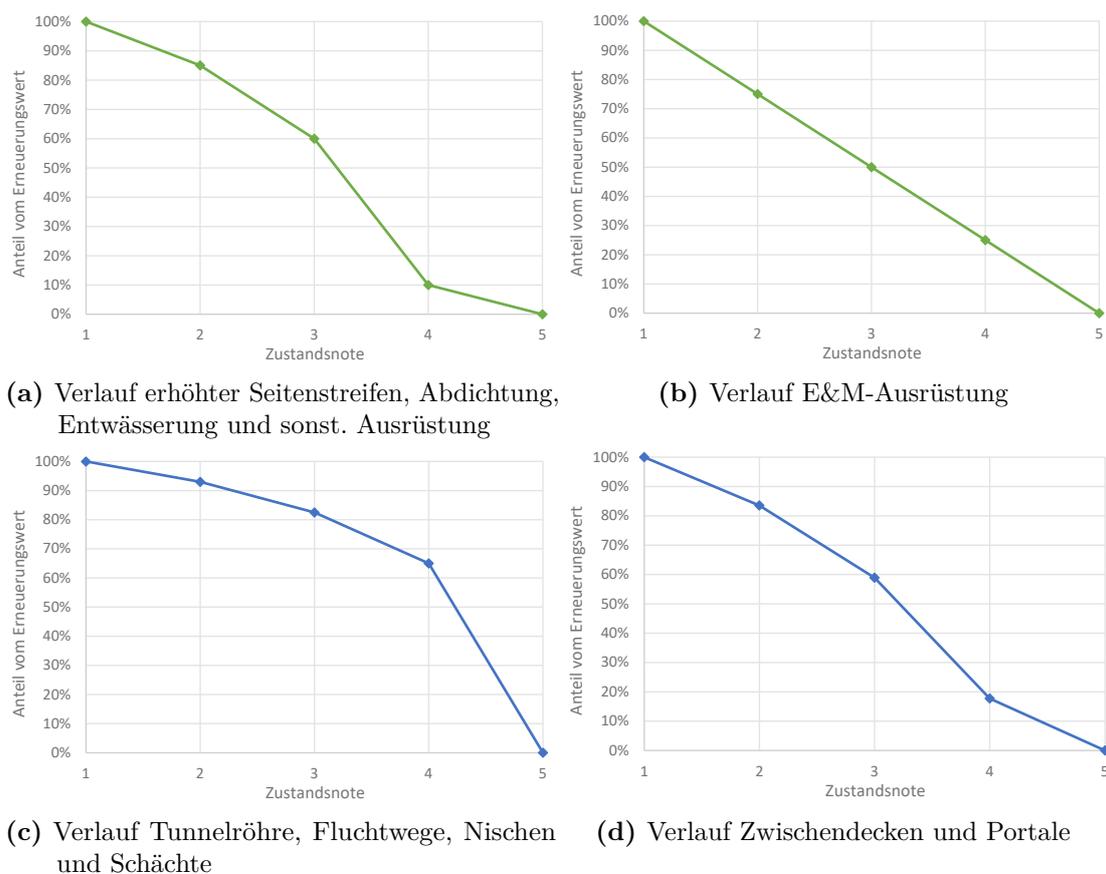
Anlagenteil	Zustandsnote				
	1	2	3	4	5
<b>Ausrüstungsindikator</b>					
Erhöhter Seitenstreifen	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
Abdichtung und Entwässerung	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
Sonstige Ausrüstung	100,0 %	85,0 %	60,0 %	10,0 %	0,0 %
E&M-Ausrüstung	100,0 %	75,0 %	50,0 %	25,0 %	0,0 %
<b>Konstruktionsindikator</b>					
Tunnelröhre	100,0 %	93,0 %	82,5 %	65,0 %	0,0 %
Fluchtwege, Nischen, Schächte	100,0 %	93,0 %	82,5 %	65,0 %	0,0 %
Zwischendecke	100,0 %	83,6 %	58,9 %	17,8 %	0,0 %
Portal/Gesims	100,0 %	83,6 %	58,9 %	17,8 %	0,0 %

Abgeleitet von den Zusammenhängen der Zustandsnoten mit dem technischen Anlagenwert bei Brücken lassen sich Ähnlichkeiten zwischen Tunnelröhren, Fluchtwegen, Nischen und Schächten mit dem Unterbau von Brücken erkennen. Auch bei Tunnelanlagen werden diese Anlagenteile normalerweise nur bei Erreichen der Zustandsnote 5 erneuert. Davor definiert sich der Wertverlust hauptsächlich über die Instandsetzungskosten, die aufgewendet werden müssen, um den Zustand bis auf Note 1 zurückzusetzen (siehe Abb. 3.16c). Bei den Zwischendecken und Portalen zweigt sich ein wesentlich höherer Anteil an Instandsetzungen, weshalb der Verlauf in Abb. 3.16d eine flachere Kurve abbildet, ähnlich dem Überbau bei Brücken.

Auf Basis einer ingenieurmäßigen Bewertung erscheint auch für die Ausrüstungsteile der baulichen Tunnelemente ein S-förmiger Verlauf im Zusammenhang als sinnvolle Annahme. Der erhöhte Seitenstreifen, die Abdichtung/Entwässerung und sonstige Ausrüstung zählen ebenfalls zu jenen Anlagenteilen, die innerhalb des technischen Lebenszyklus möglichst nur einmal erneuert werden. Bei den Anlagenteilen der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung hingegen handelt es sich um Teile, die einen mehrmaligen Austausch benötigen. Auf Basis der Ergebnisse des *OPTimal*-Projekts wurden auch für den technischen Anlagenwert lineare Verhaltensfunktionen wie in Abb. 3.16b gewählt. Diese stellen jedoch nur eine grobe Näherung dar, um eine etwaige Fehleinschätzung möglichst zu minimieren, und können nach Bedarf in Abhängigkeit des Anlagentyps, Herstellers und Ausmaß an zukünftige Erkenntnisse angepasst werden.

### 3.5 Berechnung des technischen Anlagenwerts

Auf Basis der in den vorherigen Abschnitten beschriebenen Eingangswerte, der Berechnung des Erneuerungswerts und dem Zusammenhang zwischen dem aktuellen Zustand eines Anlagenteils



**Abb. 3.16:** Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für Tunnel (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90])

und dem entsprechenden Anteil am Erneuerungswert ist in weiterer Folge die Berechnung des technischen Anlagenwerts möglich. Dieser kann prinzipiell auf unterschiedlichen Betrachtungsebenen eines Objekts bestimmt werden. Die Grundlage bilden dabei gemäß Forschungsprojekt Endbericht [90] die technischen Anlagenwerte der einzelnen Anlagenteile ( $TAW_{k,t}$  [€]). Dieser setzt sich aus dem Erneuerungswert zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  ( $EW_{k,t,t_A}$  [€]) und dem Anteil vom Erneuerungswert ( $AntEW_{k,t}$ ), welcher laut Abschnitt 3.4.3 vom Zustand abhängig ist, zusammen:

$$TAW_{k,t} = AntEW_{k,t} \cdot EW_{k,t,t_A} \quad (3.13)$$

Zur detaillierteren Bewertung der konstruktiven bzw. funktionalen Anlagenteile werden die technischen Anlagenwerte der einzelnen Anlagenteile zum Konstruktionsindikator ( $KI_t$ ) bzw. Ausrüstungsindikator ( $AI_t$ ) zusammengefasst. Hierfür wird die Summe der technischen Anlagenwerte ( $TAW_{i,t}$  [€]) einerseits für die Anlagenteile der Konstruktion ( $AT_{KI}$ ) und andererseits für die Anlagenteile der Ausrüstung ( $AT_{AI}$ ) gebildet. Diese werden anschließend mit Hilfe der Summe der Erneuerungswerte ( $EW_{i,t,t_A}$  [€]) normiert. Die beiden Indikatoren stellen somit eine dimensionslose Bewertungsgröße zwischen 0 und 100 dar, welche für einen objektübergreifenden Vergleich herangezogen werden können:

$$KI_t = \frac{\sum_{i=AT_{KI}} TAW_{i,t}}{\sum_{i=AT_{KI}} EW_{i,t,t_A}} \cdot 100 \quad (3.14)$$

$$AI_t = \frac{\sum_{j=AT_{AI}} TAW_{j,t}}{\sum_{j=AT_{AI}} EW_{j,t,t_A}} \cdot 100 \quad (3.15)$$

Für die Bewertung des Gesamtobjekts kann einerseits der monetäre technische Anlagenwert ( $TAW_t$  [€]) und andererseits der normierte technische Anlagenwert ( $TAW_{t,n}$ ) herangezogen werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass für die Zusammenführung unterschiedlicher Objektarten für die Bewertung eines Straßenabschnitts oder Teilnetzes nur normierte Werte herangezogen werden, da diese eine Auswertung über eine Kategorisierung ermöglichen. Rein monetäre Werte bilden dabei den Zusammenhang mit der Zustandsentwicklung nur unzureichend ab. Zur Berechnung des normierten technischen Anlagenwerts für ein Gesamtobjekt sind zwei Varianten verfügbar. Einerseits besteht die Möglichkeit zunächst den monetären technischen Anlagenwert ( $TAW_t$  [€]) aus der Summe aller Anlagenteile ( $TAW_{k,t}$  [€]) zu ermitteln:

$$TAW_t = \sum_{k=AT_i} TAW_{k,t} = \sum_{k=AT_i} AntEW_{k,t} \cdot EW_{k,t,t_A} \quad (3.16)$$

Dieser kann anschließend mittels Division durch die Summe der Erneuerungswerte ( $EW_{k,t,t_A}$  [€]) normiert werden. Auf der anderen Seite errechnet sich der normierte technische Anlagenwert auch aus der anteilmäßigen Summierung der bereits normierten Konstruktions- ( $KI_t$ ) und Ausrüstungsindikatoren ( $AI_t$ ):

$$TAW_{t,n} = \frac{\sum_{k=AT_i} TAW_{k,t}}{\sum_{k=AT_i} EW_{k,t,t_A}} \cdot 100 = KI_t \cdot AntKI_{t,t_A} + AI_t \cdot AntAI_{t,t_A} \quad (3.17)$$

Die hierfür benötigten Anteile setzen sich aus dem Verhältnis der Summe an Erneuerungswerten ( $EW_{i,t,t_A}$  [€]) der Anlagenteile der Konstruktion ( $AT_{KI}$ ) bzw. Ausrüstung ( $AT_{AI}$ ) und der Gesamtsumme der Erneuerungswerte ( $EW_{k,t,t_A}$  [€]) einer Anlage zusammen:

$$AntKI_{t,t_A} = \frac{\sum_{i=AT_{KI}} EW_{i,t,t_A}}{\sum_{k=AT_i} EW_{k,t,t_A}} \quad (3.18)$$

$$AntAI_{t,t_A} = \frac{\sum_{i=AT_{AI}} EW_{i,t,t_A}}{\sum_{k=AT_i} EW_{k,t,t_A}} \quad (3.19)$$

Durch die vorgenommene Normierung ergeben sich auch für den normierten technischen Anlagenwert ( $TAW_{t,n}$ ) die beiden Grenzwerte für die Ergebnisse, welche ausschließlich Werte zwischen 0 und 100 erlauben. Abschließend besteht die Möglichkeit der Kategorisierung des normierten technischen Anlagenwerts in Anlehnung an die fünfteilige Skala der Zustandsnoten. Dies erleichtert die Auswertung von Strecken und Straßennetzen. Gemäß dem Vorschlag im Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90] erlaubt eine zusätzliche Unterteilung eine bessere Aussage darüber, welcher Anteil der betrachteten Anlagen einen hohen oder sehr geringen technischen Anlagenwert aufweisen. Die entsprechende Kategorisierung bezogen auf die Farben der Zustandsnoten der RVS-Richtlinien ist in Tab. 3.9 zu sehen.

### 3.6 Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen auf Basis des technischen Anlagenwerts

Zusätzlich zur Berechnung des monetären und normierten technischen Anlagenwerts von unterschiedlichen Anlagen der Straßeninfrastruktur, spielt die Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von geplanten Maßnahmen eine entscheidende Rolle. Um mehrere Maßnahmenstrategien für einzelne

**Tab. 3.9:** Kategorisierung für den normierten technischen Anlagenwert

Farbcodierung	Bereichsgrenzen	Beschreibung
	$80 \leq TAW_{t,n} \leq 100$	Sehr hoher technischer Anlagenwert
	$60 \leq TAW_{t,n} < 80$	Hoher technischer Anlagenwert
	$40 \leq TAW_{t,n} < 60$	Mittlerer technischer Anlagenwert
	$20 \leq TAW_{t,n} < 40$	Geringer technischer Anlagenwert
	$0 \leq TAW_{t,n} < 20$	Sehr geringer technischer Anlagenwert

Anlagen oder unterschiedliche Anlagen des gleichen Typs miteinander vergleichen zu können, besteht die Möglichkeit der Anwendung von Effektivitätsdiagrammen entsprechend der Empfehlung im Forschungsbericht *TAniA* [90]. Dieses bietet, in Anlehnung an eine Kosten-Nutzen-Analyse, eine graphische Gegenüberstellung des Verhältnisses von Auswirkungen geplanter Maßnahmen zur Entwicklung des normierten technischen Anlagenwerts.

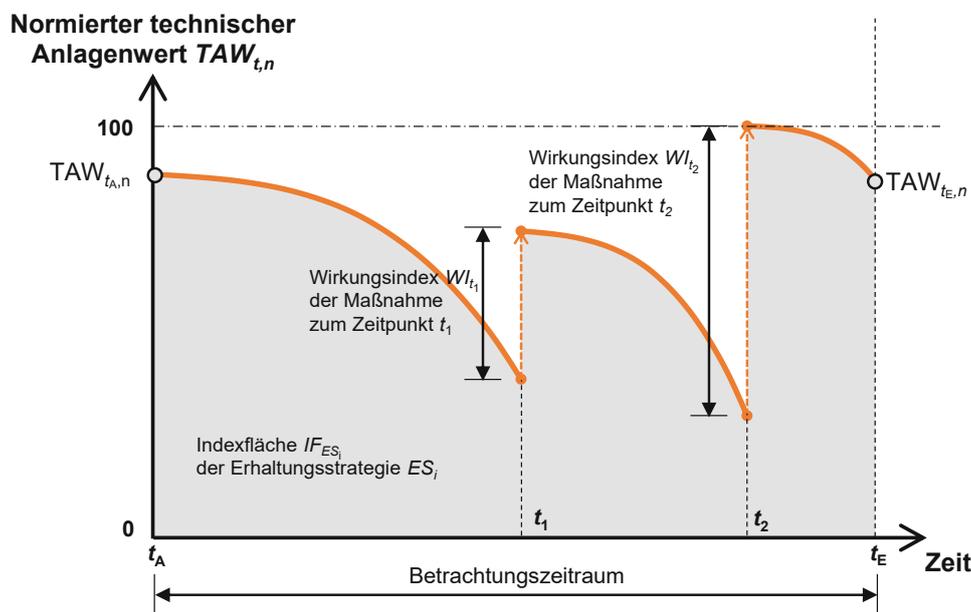
**Abb. 3.17:** Kennzahlen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Erhaltungsstrategien auf Basis des technischen Anlagenwerts (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90])

Abb. 3.17 zeigt den prognostizierten Verlauf des technischen Anlagenwerts innerhalb des Betrachtungszeitraums. Als maßgebende Kennwerte lassen sich dabei einerseits die Sprünge durch geplante Maßnahmen und andererseits die Fläche unter der Kurve erkennen. Ein Sprung an der Stelle einer Erhaltungsmaßnahme bildet den normierten Wertzuwachs und somit die Kosten der gewählten Strategie ab. Je später die Maßnahme durchgeführt wird, umso höher muss die Investition sein um den gleichen Wert nach der Maßnahme zu erhalten. Die Fläche bildet in weiterer Folge die Höhe des technischen Anlagenwerts ab. Diese Fläche wird in weiterer Folge als Indexfläche ( $I_{F_{ES_x}}$ ) bezeichnet und stellt die Summe des technischen Anlagenwerts innerhalb der Betrachtungsperiode zwischen  $t_A$  und  $t_E$  einer Erhaltungsstrategie ( $ES_x$ ) dar:

$$I_{F_{ES_x}} = \sum_{t=t_A}^{t_E} TAW_{t,n} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (3.20)$$

Dabei sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass für das Aufsummieren von Werten zu unterschiedlichen Zeitpunkten, mit Barwerten entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 2.5 zu rechnen ist, was durch den Abzinsungsfaktor  $q$  und die Laufzeit  $n$  [Jahre] berücksichtigt wird, da andernfalls die Vergleichbarkeit nicht gegeben ist. Zusätzlich ist für den Vergleich unterschiedlicher Erhaltungsstrategien darauf zu achten, dass die gleiche Betrachtungsperiode herangezogen wird.

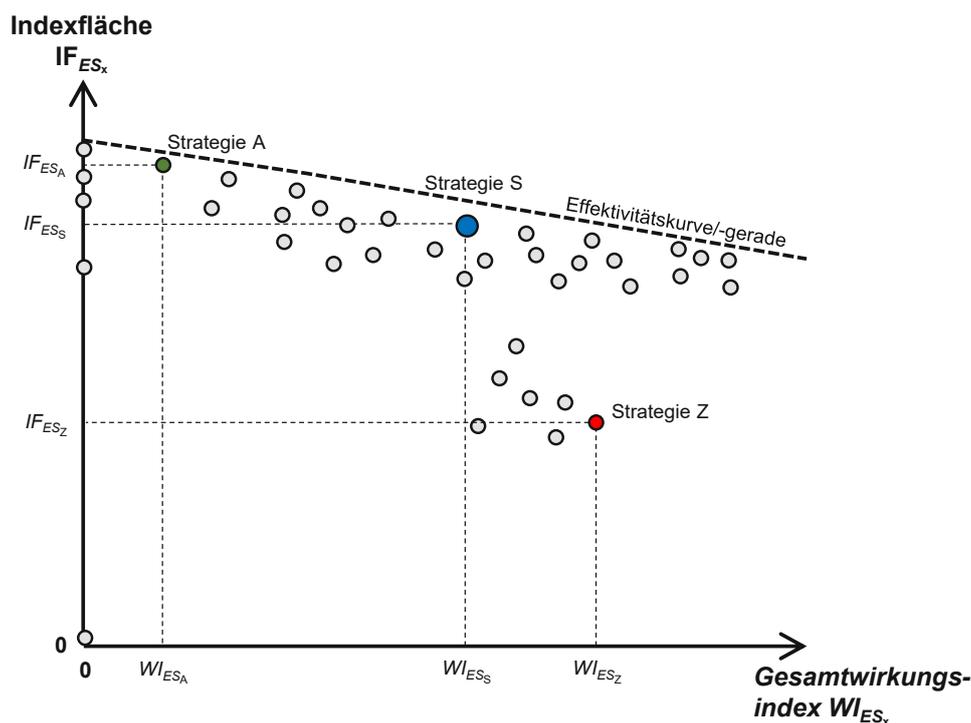
Für die Beschreibung der zuvor beschriebenen Wirkung ist die Änderung des normierten technischen Anlagenwerts durch eine Maßnahme (Instandsetzung, Erhaltung oder Erneuerung) zu bewerten. Dies kann mit Hilfe des Wirkungsindex ( $WI_{t_i}$ ) aus der Differenz zwischen dem normierten technischen Anlagenwert vor ( $TAW_{t_i,n,vor}$ ) und nach ( $TAW_{t_i,n,nach}$ ) der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  wie folgt berechnet werden:

$$WI_{t_i} = TAW_{t_i,n,nach} - TAW_{t_i,n,vor} \quad (3.21)$$

Der Gesamtwirkungsindex ( $WI_{ES_x}$ ) der Erhaltungsstrategie  $ES_x$  für die Betrachtungsperiode  $t_A$  bis  $t_E$  ermittelt sich anschließend ebenfalls durch das Aufsummieren der Wirkungsindizes ( $WI_{t_i}$ ) zu unterschiedlichen Zeitpunkten  $t_i$ , an denen Maßnahmen durchgeführt werden und die Berücksichtigung der Abzinsung auf den Betrachtungszeitpunkt:

$$WI_{ES_x} = \sum_{t_i=t_A}^{t_E} WI_{t_i} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (3.22)$$

Stehen für ein Objekt oder Anlagen des gleichen Typs unterschiedliche Erhaltungsstrategien zur Verfügung, dann können die beschriebenen Kennwerte für jede Strategie berechnet werden. Die anschließende Darstellung dieser Werte in einem XY-Diagramm mit der Indexfläche ( $IF_{ES_x}$ ) auf der Ordinate und dem Gesamtwirkungsindex ( $WI_{ES_x}$ ) auf der Abszisse liefert eine Punktwolke, welche als Effektivitätsdiagramm bezeichnet wird. Dieses erlaubt unterschiedliche qualitative Aussagen zur Wirtschaftlichkeit von Erhaltungsstrategien. Beispielhaft sind in Abb. 3.18 unterschiedliche Erhaltungsstrategien für den gleichen Anlagentyp abgebildet. Sind in einer Strategie keine Maßnahmen geplant, so ergibt sich der Gesamtwirkungsindex  $WI_{ES_x} = 0$ , wodurch diese im Effektivitätsdiagramm entlang der Ordinate zu finden sind. Je höher dabei der der technische Anlagenwert zu Beginn des Betrachtungszeitraums ist, desto weiter oben befindet sich die betreffende Strategie auf der Achse (= umso höher ist die Indexfläche  $IF_{ES_x}$ ). Auf der anderen Seite weist eine Strategie auf der rechten Seite des Diagramms auf hohe Erhaltungsinvestitionen hin. Weisen zwei Strategien den gleichen Gesamtwirkungsindex, aber eine unterschiedlich hohe Indexfläche auf, so ist daraus ableitbar, dass jene Strategie mit der höheren Indexfläche die wirtschaftlichere Lösung im Sinne des technischen Anlagenwerts darstellt. Des Weiteren ist anhand der Punktwolke eine obere Begrenzung zu erkennen. Diese Grenze wird als Effektivitätskurve bzw. -gerade bezeichnet und bildet die maximal erreichbare Wirkung der Erhaltungsstrategien ab. Je näher sich eine Strategie an dieser Grenze befindet, umso wirtschaftlicher ist diese im Sinne des technischen Anlagenwerts zu beurteilen. Eine genauere Auswertung und Analyse dieser Kennzahlen ist in weiterer Folge anhand von realen Anlagenwerten und Strategien je Anlagentyp sinnvoll, diesbezüglich wird an dieser Stelle auf Abschnitt 6 verwiesen.



**Abb. 3.18:** Kennzahlen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Erhaltungsstrategien auf Basis des technischen Anlagenwerts (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90])

### 3.7 Zusammenfassung der Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts von Infrastrukturanlagen

Den Kernbereich dieser Arbeit stellt die Entwicklung eines Berechnungsalgorithmus zur Bestimmung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts dar. Dies erfolgte im Zuge des DACH-Forschungsprojekts *TAniA*, bei dem die Autorin als Teil des österreichischen Forschungsteams mitwirken durfte. Dieses Kapitel widmet sich eingehend den einzelnen Entwicklungsschritten des standardisierten Berechnungsmodells zur Unterstützung der strategischen Erhaltungsplanung im Infrastrukturbau. Zunächst wird die Grundidee des technischen Anlagenwerts und dessen qualitativer Zusammenhang für ein besseres Verständnis der nachfolgenden Schritte erläutert. Dabei erfolgt zusätzlich die Definition der wesentlichen Begriffe für die Anwendung des Berechnungsmodells auf Basis der Ergebnisse aus der Literatur- und Normenrecherche sowie den durchgeführten Workshops mit Stakeholdern der Straßenverwaltungen der DACH-Länder. Im Anschluss daran wird der gesamtheitliche Bewertungsrahmen näher beschrieben. Dieser enthält die Erläuterungen zu den fünf möglichen Anwendungsebenen des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert, ausgehend von den einzelnen Bauteilen bis hin zum Gesamtnetz. In diesem Schritt ist zusätzlich die Zuordnung der Bauteile zur Konstruktion bzw. Ausrüstung beschrieben, welche insbesondere für die Anwendungsebene 4 – Funktionsebene benötigt wird. Ein weiterer wesentlicher Bestandteil des Bewertungsrahmens ist die Definition der erforderlichen Eingangsparameter für die Berechnung. Da diese sehr stark von den verfügbaren Daten der Straßenverwaltungen abhängen, werden die unbedingt erforderlichen Mindestanforderungen hervorgehoben. Zusammenfassend hat sich herauskristallisiert, dass grundlegende Informationen in den Bereichen Netz- und Referenzierungsdaten, aktueller Anlagenzustand, Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung, Inventardaten, Beanspruchungen und Kosten benötigt werden.

Im nächsten Abschnitt werden die unterschiedlichen Varianten für Zustandsprognosen im Infrastrukturbau beschrieben. Die Anwendbarkeit der einzelnen Möglichkeiten hängt dabei stark von der Datenqualität und -quantität der Straßenverwaltung ab. Als Eingangsgröße im Sinne des technischen Anlagenwerts können daher Standardlebenszyklen, kalibrierte Standardlebenszyklen oder Zustandsprognosen aus Erhaltungsmanagementsystemen verwendet werden. Abschnitt 3.3.2 bietet Vorschläge für standardisierte Lebenszyklen der Anlagenarten Straßenoberbau, Brücke und Tunnel inkl. den jeweiligen Auswahlparametern. Da diese lediglich die Mindestanforderungen für die Verwendung im Berechnungsmodell erfüllen, erfolgt anschließend die Beschreibung der dynamischen Anpassung von Standardlebenszyklen. Hierdurch können die geplanten Erhaltungsstrategien genauer abgebildet werden, ohne ein detailliertes Datenmanagementsystem zur Verfügung haben zu müssen. Die Anpassung erfolgt dabei im wesentlichen in zwei Schritten, zunächst für die konstruktiven Anlagenteile und anschließend für die Ausrüstung. Um die Genauigkeit der Zustandsprognose weiter zu erhöhen, ist der Aufbau eines umfangreichen Erhaltungsmanagementsystems (PMS, BMS, TMS) jedoch unumgänglich. Darauf aufbauend können mittels Degradationskurven für die einzelnen Anlagenteile unter Bezugnahme auf Beanspruchungen und örtliche Gegebenheiten individuelle Zustandsentwicklungen prognostiziert werden.

Aufbauend auf den beschriebenen Grundlagen und der Analyse der vorhandenen Daten erfolgt die Erläuterung des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert. Das grundsätzliche Vorgehen ist im Ablaufdiagramm in Abb. 3.12 zusammengefasst. Aufbauend auf der Datenanalyse wird die Ermittlung des Erneuerungswerts anhand der Inventardaten und Kostenkennwerte durchgeführt. Den nächsten Schritt stellt die Auswahl des Zustandsprognosemodells dar. Dabei stehen die folgenden drei Varianten zur Verfügung: Variante A – Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen, Variante B – Kalibrierte Standardlebenszyklen und Variante C – Standardlebenszyklen. Abhängig von der gewählten Prognoseart, kann die Berechnung des technischen Anlagenwerts direkt für das Gesamtbauwerk oder die einzelnen Bauteile erfolgen. Abschnitt 3.4.3 beschreibt schließlich die Herleitung des Zusammenhangs von Anlagenzustand und dem technischen Anlagenwert aufbauend auf der Datenanalyse des österreichischen Straßenbetreibers. Den Abschluss des Kapitels bildet die mathematische Ausformulierung des entwickelten Berechnungsmodells inkl. der möglichen Anwendung des technischen Anlagenwerts in Sinne einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung. Diese bilden die Grundlage für die weiteren Schritte des Forschungsvorhabens. Hierfür ist die Auseinandersetzung mit dem bestehenden Daten- und Erhaltungsmanagementsystem der ASFINAG für das höherrangige Straßennetz notwendig damit der Algorithmus des technischen Anlagenwerts als zusätzlicher Entscheidungsparameter implementiert werden kann.

## Kapitel 4

# Grundlagen des Deighton Total Infrastructure Management Systems (dTIMS)

Die kanadische Firma Deighton Associates Limited bietet seit mittlerweile über 30 Jahren mit dem Asset-Management-Programm *Deighton Total Infrastructure Management System (dTIMS)* eine weltweit eingesetzte Softwarelösung für die Verwaltung von Anlagen an. Sie unterstützt Behörden und Anlageneigentümer bei der Überwachung der historischen und aktuellen Zustandsdaten sowie bei der Optimierung und fundierten Zuteilung von Budgetmitteln des Erhaltungsmanagements über den gesamten Lebenszyklus. Unter den Anwendern finden sich weltweit sowohl private Anlagenbesitzer als auch öffentliche Institutionen von Städten, Gemeinden, Bund und Ländern. Dabei kommt der Teilbereich dTIMS Business Analytics für das Datenmanagement, Analysen und Prognosen zur Anwendung und die Bereiche dTIMS Operations Management sowie dTIMS Business Intelligence zur Aufbereitung und Visualisierung der Ergebnisse.

Dieses Kapitel gibt einen Einblick in die grundlegende Funktionalität und Anwendung von dTIMS Business Analytics (UI Version 2020Q2.20201030.1) für die Erhaltungsplanung im Infrastrukturbau. Es sei jedoch an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass es sich hierbei nicht um eine Schritt-für-Schritt Anleitung handelt, sondern lediglich die Möglichkeiten und prinzipielle Struktur des Programms aufgezeigt werden. Als Grundlage für die folgenden Abschnitte zur Beschreibung des Datenmanagementsystems dTIMS dienen Schulungen der Firma Deighton [18] und die von der Autorin betreute Bachelorarbeit von Rockenschaub mit dem Titel „dTIMS – Deighton Total Infrastructure Management System“ [47].

### 4.1 Aufbau einer Datenbank

Zu Beginn ist die Konfiguration einer Datenbank (*Database*) [22] erforderlich, um gesammelte Daten anschließend in einem Datenmanagementsystem ablegen und verwalten zu können. Diese kann aus unterschiedlichen Tabellen, Attributen und Elementen bestehen. In dTIMS können die einzelnen Komponenten über die *Database Configuration* erstellt und verwaltet werden. Bei Änderungen der Datenbankstruktur ist zwingend eine Aktualisierung der dahinter liegenden SQL<sup>4</sup>-Datenbank durch den Befehl *Apply Schema Changes* notwendig. Dies kann beispielsweise durch das Erstellen von neuen Tabellen oder Attributen ausgelöst werden. Für ein besseres Verständnis der *Database* beschreiben die nachfolgenden Abschnitte die einzelnen Komponenten genauer.

#### 4.1.1 Tabellen

Die Daten der unterschiedlichen Assets werden in der Datenbank über verschiedene Arten von Tabellen (*Tables*) erfasst [18, 27]. Dabei beziehen sich alle Tabellen auf die Basistabelle (*Base*

---

<sup>4</sup>Structured Query Language (SQL) entspricht gemäß Taylor [83] einer ISO-standardisierten Abfragesprache für die Erstellung von Datenbanken sowie das Abrufen und Einfügen von Daten.

Table), die das grundlegende Bezugssystem darstellt. Im Fall der Beschreibung der Straßeninfrastruktur enthält diese das Straßennetz. Durch die Verknüpfung der Tabellenelemente über den Standort ist eine genaue Referenzierung der einzelnen Elemente möglich. Da innerhalb einer dTIMS-Datenbank mehrere Tabellen vorhanden sind, ist bei deren Erzeugung darauf zu achten, dass jeder Tabelle ein eindeutiger und einzigartiger Name zugewiesen wird. Dieser darf keine Umlaute oder Leerzeichen enthalten und sollte nicht mit einer Zahl beginnen. Erforderlichenfalls können Tabellen auch über den gleichen Anzeigenamen (*Display Name*) verfügen; es wird jedoch dazu geraten, den Namen und Anzeigenamen gleich zu wählen, um die Eindeutigkeit zu gewährleisten.

In einer Tabelle stellen die Zeilen die entsprechenden Elemente dar. Über Attribute können die Spalten und damit die einzugebenden Werte näher definiert werden. Mit unterschiedlichen Tabellenarten kann eine Vorauswahl der möglichen Attribute getroffen werden. Diese schränkt in weiterer Folge die speicherbaren Daten für den entsprechenden Tabellentyp ein. dTIMS ermöglicht die Erzeugung folgender Tabellentypen:

**Abschnittstabellen (Section):** Elemente in einer Abschnittstabelle weisen typischerweise eine Längenausdehnung auf, welche mit Hilfe des Start- (*From*) und Endpunkts (*To*) definiert ist. Innerhalb dieser Art der Tabelle dürfen sich die einzelnen Elemente nicht überschneiden. Sie werden häufig zur Beschreibung von linienförmigen Anlagen (Straßen, Gehwege etc.) verwendet. Bei den Abschnittstabellen besteht die Möglichkeit, zwei Unterarten zu verwenden:

**Fahrstreifenbezogen (Lane):** Die fahrstreifenbezogenen Abschnittstabellen erlauben es, dass Daten für die einzelnen Fahrstreifen abgelegt werden können. Hierbei ist auch die Überlappung mehrerer Fahrstreifen auf einem Straßenabschnitt möglich. Diese Kategorie wird häufig zur Beschreibung des Zustands der einzelnen Fahrstreifen verwendet.

**Historisch (Historic):** Mit Hilfe von historischen Abschnittstabellen ist die Speicherung von Daten zu verschiedenen Zeitpunkten möglich. Diese könne sich entgegen der generellen Definition von Abschnittstabellen ausnahmsweise überlappen. Aus diesem Grund eignen sich diese Tabellen beispielsweise für die Erfassung von Erhaltungsmaßnahmen nach dem Durchführungsjahr.

**Punkttabellen (Point):** Anlagen ohne erwähnenswerte Längenausdehnung werden üblicherweise als Elemente einer Punkttabelle erfasst. Die Lage dieser Objekte innerhalb des Bezugssystems definiert sich über den Standort (*At*). Dabei darf je Standort grundsätzlich nur ein Element zugeordnet werden. Bei diesem Tabellentyp gibt es ebenfalls die Möglichkeit, über Unterarten fahrstreifenbezogene oder historische Daten anzulegen. Punkttabellen werden oft für die Abbildung von Kreuzungen, Schächten oder Brücken angewendet. Generell können zwei Unterarten unterschieden werden:

**Wiederholend (Repeating Point):** Die Unterart der wiederholenden Punkttabelle ermöglicht die Verortung mehrere Elemente an derselben Stelle. Dies ist für die Erfassung von Verkehrszeichen oder Unfallereignissen hilfreich.

**Exklusiv (Exclusive Point):** Eine exklusive Punkttabelle erlaubt, ebenso wie die allgemeine Punkttabelle, nur das Vorhandensein von einem Element je Standort. Es ist allerdings möglich, mehrere Elemente mit dem gleichen Namen innerhalb des Bezugssystems anzulegen, solange diese nicht an derselben Straße liegen. Dies ist beispielsweise für die Speicherung von Kilometerangaben notwendig.

**Andere Tabellen (Other):** Der Tabellentyp **Other** kann verwendet werden, wenn keiner der sonstigen Typen den Anforderungen entspricht. Darin werden unter anderem Anlagen beschrieben, die nicht direkt mit dem Bezugssystem verknüpft sind. Als Beispiele für solche Anlagen können Gebäude oder Gerüste genannt werden.

**1:n-Tabellen (One-to-many):** Mit Hilfe einer 1:n-Tabelle ist es möglich, einem Eintrag in der Tabelle A mehrere Einträge der Tabelle B zuzuordnen. Dies kommt zum Beispiel dann zur Anwendung, wenn einem Straßenabschnitt in Tabelle A mehrere Erhaltungsmaßnahmen aus Tabelle B zugeordnet werden sollen. Abb. 4.1 zeigt ein Beispiel dieser Zuordnung.

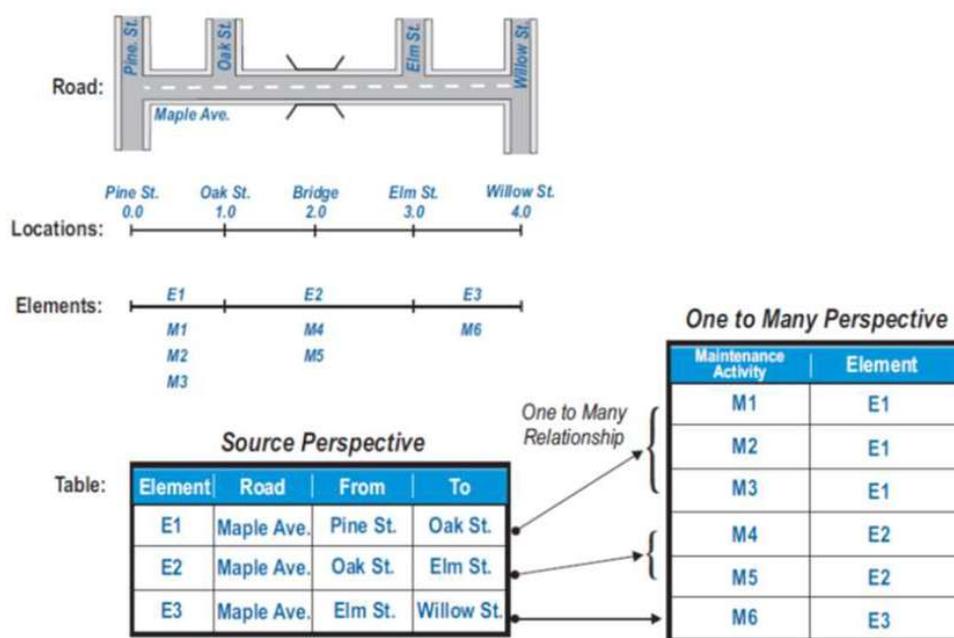


Abb. 4.1: Beispiel einer 1:n-Tabelle [18, S. 15]

#### 4.1.2 Attribute

Durch die Definition von Attributen (**Attributes**) werden die Eigenschaften der abzulegenden Daten bestimmt und damit in weiterer Folge, welche Daten in einer Tabelle erfasst werden können [27]. Jedes Attribut stellt dabei eine eigene Spalte innerhalb der Datentabelle dar. Der Bezug zur jeweiligen Tabelle muss bei der Erstellung des Attributs definiert werden. Zusätzlich ist der Attributtyp festzulegen, welcher die Anforderungen an die einzugebenden Daten dieser Spalte vorgibt. Diese können gemäß der Auflistung in Tab. 4.1 unterschiedliche Varianten von Zahlenwerten, Text, Operationen etc. enthalten. Wesentlich ist dabei zu beachten, dass der Attributtyp nach dem Anlegen nicht mehr geändert werden kann. Grundsätzlich ist es in dTIMS zulässig, dass zwei Attribute den gleichen Namen besitzen; jedoch ist darauf zu achten, dass sie unterschiedlichen Tabellen zugewiesen sein müssen. Innerhalb einer Tabelle sind demnach nur eindeutige und einzigartige Attributnamen erlaubt. Bei der Namensdefinition sind ebenfalls keine Umlaute oder Leerzeichen zulässig.

Tab. 4.1: dTIMS Attributes

Attributtyp	Beschreibung
<code>BigInt</code>	Ganzzahl, 8 Bytes Speicherplatz verfügbar
<code>Bit</code>	Bool'sche Logik-Operation; True oder False
<code>Date</code>	Datum
<code>DateTime</code>	Datum mit Uhrzeit
<code>Decimal</code>	Zahl mit fester Anzahl an Nachkommastellen und vorgegebenem Maximalwert
<code>Float</code>	Zahl, 7 Bytes Speicherplatz verfügbar
<code>Geometry</code>	Geometrie im 2D-Koordinatensystem
<code>HyperLink</code>	Eingabe von Hyperlinks
<code>Int</code>	Ganzzahl, 4 Bytes Speicherplatz verfügbar
<code>Money</code>	Währung
<code>nvarchar</code>	Text mit variabler Länge
<code>Relation</code>	Bezug
<code>SmallInt</code>	Ganzzahl, 2 Bytes Speicherplatz verfügbar
<code>Table</code>	Tabelle enthält Code (Kurzbeschreibung), Decode (Beschreibung) und Farbe
<code>UniqueIdentifier</code>	Eindeutiger Identifikationswert
<code>xml</code>	

### 4.1.3 Elemente

Die einzelnen Datensätze einer Tabelle entsprechen jeweils einer Zeile und heißen in dTIMS Elemente (**Elements**) [27, 47]. Sie enthalten konkrete Informationen zu den betreffenden Anlagen bzw. Anlagenteilen. Die einzugebenden Daten eines Elements sind vorab über die Angabe der Attribute (Spaltenwerte) zu definieren. Bei der Eingabe eines neuen Datensatzes ist auf folgende Angaben zu achten:

- Name (**Name**) des Elements: muss eindeutig sein und darf sich innerhalb einer Tabelle nicht wiederholen.
- Bezugsэлемент: zur Referenzierung muss die Angabe eines Bezugselements in der Basistabelle über den (**RoadName**) erfolgen:
  - Für Abschnittstabellen: Festlegung von Position und Länge auf dem Bezugsэлемент über die Attribute **From** und **To** sowie
  - für Punkttabellen: Bestimmung des Standorts auf dem Bezugsэлемент über das Attribut **At**.

Elemente einer Tabelle können entweder einzeln über **+Add** oder via **Data Import** mit Hilfe einer Tabelle – beispielsweise einer Excel- oder Access-Tabelle – angelegt werden. Für das Hinzufügen mehrerer Datensätze empfiehlt es sich, die Variante des Datenimports zu verwenden. Hierfür sollte am besten vorab die Struktur der Tabelle durch einen Export heruntergeladen werden, wodurch nach der Befüllung mit Daten keine gesonderte Zuordnung beim Import notwendig ist.

## 4.2 Arbeiten mit Daten in dTIMS

Nachdem die Tabellen in dTIMS erstellt und mit den notwendigen Daten befüllt wurden, ist es möglich, diese zu überarbeiten, modifizieren und visualisieren. Dadurch können weitere Informationen aus den ursprünglich eingetragenen Datensätzen gewonnen werden. In dTIMS bestehen mit

- Database Expressions,
- Dataviews,
- Data Transformation und
- Queries

vier unterschiedliche Möglichkeiten der Weiterverarbeitung, deren Erläuterungen in den anschließenden Abschnitten erfolgt.

### 4.2.1 Database Expression

Grundsätzlich bieten **Expressions** in dTIMS die Möglichkeit, zusätzlich erforderliche Daten aus den gespeicherten Daten zu generieren [16, 18, 47]. Dies kann einerseits über mathematische Formeln und andererseits über Logikausdrücke erfolgen. Dabei sind im Wesentlichen drei Arten von **Expressions** zu unterscheiden: **Database Expressions**, **Analysis Expressions** und **dFRAG Expressions**. Die beiden letzten werden insbesondere für die Analyse von Datensätzen (siehe Abschnitt 4.3) verwendet. **Database Expressions** finden Anwendung bei der Neuberechnung von Attributwerten sowie Datentransformationen und Abfragen.

Die Erstellung von **Expressions** findet im sogenannten **Expression Editor** statt. Dieser ähnelt einem wissenschaftlichen Taschenrechner inkl. Speicherfunktion und bietet über ein Drop-down-Menü bereits häufig vorkommende mathematische und logische Funktionen an. Für eine schnelle Referenzierung werden zudem die bereits vorhandenen Attribute und erstellten **Expressions** in der seitlichen Navigation angezeigt. Abb. 4.2 zeigt einen Ausschnitt aus dem **Expression Editor** mit dem Navigationsbereich links und dem Eingabefeld für die **Expression** rechts. Vor dem Speichern der erzeugten Formel muss über die Schaltfläche **Validate** die Korrektheit der Eingabe überprüft werden. Generell muss das Ergebnis einer solchen Berechnung nicht mit einem Zielattribut einer Tabelle verknüpft sein, sondern kann für weitere Berechnungen direkt herangezogen werden. Die Verschachtelung darf allerdings maximal bis zu 3 Ebenen erfolgen.

### 4.2.2 Dataview

Datenansichten (**Dataviews**) ermöglichen die Darstellung von Teilmengen der in der Datenbank enthaltenen Attribute [17, 47]. Dabei können sowohl ausgewählte Attribute aus einer einzigen oder mehreren Tabellen zu einer Ansicht zusammengefasst werden. Zusätzlich zur Übernahme bestehender Attribute erlaubt die Datenansicht auch die Erzeugung einer neuen Spalte unter der Verwendung von Formeln (**Expressions**). Die so erzeugten Tabellen bilden die Ausgangslage für Abfragen (**Queries**) und helfen bei der Visualisierung und Anpassung der Daten an die Anwenderwünsche für Entscheidungsprozesse und Datenüberprüfungen.



Abb. 4.2: Beispiel des Expression Editor [47, S. 10]

### 4.2.3 Data Transformation

Datentransformationen (**Data Transformation**) bieten die Möglichkeit, die eingetragenen Daten der Tabellenblätter zu verändern und zu modifizieren, um erforderliche Informationen zu generieren [8, 26, 47]. dTIMS sieht für die Aufbereitung der Daten grundsätzlich drei unterschiedliche Arten vor:

- **Table Transformation:** Mittels Tabellentransformationen können Daten einer oder mehrerer Tabellen in ein Zielattribut einer anderen Tabelle übertragen werden. Dabei kommen unterschiedliche mathematische Befehle entsprechend den in Tab. 4.2 beschriebenen Transformationsklassen (**Transformation Classes**) zum Einsatz. Die möglichen Befehle sind vom jeweiligen Attributtyp abhängig.
- **Formula Transformation:** Formeltransformationen dienen der Berechnung eines Zielattributwerts aus einem oder mehreren Attributen der selben Tabelle mittels **Expressions**. Zusätzlich ist die Anwendung von Filtern bei der Ermittlung möglich.
- **Cross Tab Transformation:** Die Kreuztabellentransformation ermittelt einen neuen Attributwert auf Basis von zwei Ausgangswerten der gleichen Tabelle. Dabei fungiert jeweils eines der Ausgangsattribute als neue Zeile bzw. Spalte einer Hilfstabelle **Look-up Table**, welche die Kategorisierung des neuen Zielwerts vorgibt.

### 4.2.4 Query

Für die Gewinnung bestimmter Informationen aus einer bestehenden Datenbank, ohne dabei deren Struktur zu verändern, eignet sich die Verwendung von Abfragen (**Queries**) [11, 47]. Dabei können nicht nur vorhandene Daten wiedergegeben, sondern neue Werte auf Basis der Quelldaten mittels Filter und/oder Auswahlkriterien generiert werden. In dTIMS besteht die Möglichkeit die folgenden Abfragetypen zu verwenden:

- **Table Query:** Tabellenabfragen bilden die Datensätze einer Quelltable angepasst an die Abschnitte einer Zieltabelle ab. Dabei sind unterschiedliche Varianten von Datentransformationen möglich.

Tab. 4.2: dTIMS Transformation Classes

Transformationsklasse	Beschreibung
Weighted Average	Längengewichteter Mittelwert der beteiligten Werte
Sum	Längengewichtete Summe der beteiligten Werte
Maximum	Größter Wert
Minimum	Kleinster Wert
Statistical Average	Statistischer Mittelwert
First Occurrence	Erster auftretender Wert in Betrachtungsrichtung
Last Occurrence	Letzter auftretender Wert in Betrachtungsrichtung
Most Length	Häufigstes Auftreten eines Werts bezogen auf die Länge
Confidence Interval	Konfidenzintervall mit frei wählbarem Faktor
Standard Deviation	Gewichtete Standardabweichung der ausgewählten Werte
Bins	Anteile in % einer Eigenschaft an der Gesamtstrecke

- **Smallest Common Denominator (SCD) Query:** Die Kleinste-gemeinsame-Abschnitte-Abfrage ermöglicht die Ausgabe von Attributen aus unterschiedlichen Tabellen anhand des kleinsten gemeinsamen Nenners mit homogenen Daten.
- **Network Query:** Netzwerkabfragen geben einen einzigen Wert eines beliebigen Attributs für das gesamte Netzwerk wieder. Sie stellen eine sehr einfachen Abfragearten dar, um beispielsweise den durchschnittlichen Datenwert eines Attributs zu ermitteln.
- **Time Dependent Query:** Durch die Anwendung von zeitabhängigen Abfragen ist es möglich, eine Zusammenfassung für Bereich mit mehreren Elementen pro Standort zu erstellen (z. B. für historische Abschnittstabellen oder wiederholende Punkttabellen). Mittels Zeitfaktors kann der aktuellste bzw. neueste Wert ausgegeben werden.
- **Cross Tab Query:** Eine Kreuztabellenabfrage verschneidet zwei Attribute einer Tabelle unter Verwendung einer Hilftabelle (**Look-up Table**) miteinander und ordnet diesen somit einen neuen Wert zu.

Bei der Durchführung einer Abfrage in dTIMS greift diese auf die Werte einer Datenansicht zu, führt die entsprechenden Transformationen durch und stellt die Ergebnisse anschließend in einer eigenen Ergebnistabelle dar. Diese kann am Ende angezeigt oder in einer Datei gespeichert werden und ist jederzeit unter **Asset Data**→**Query Results** zu finden.

### 4.3 Anwendung von Analysen

Analysen (**Analysis**) stellen in dTIMS im Wesentlichen Lebenszyklusbetrachtungen innerhalb eines frei wählbaren Betrachtungszeitraums (**Analysis Period**) dar [19, 47]. Die Grundlage bilden Prognosemodelle zur Beschreibung von Zustandsentwicklungen und Verkehrsdaten, mögliche Erhaltungsmaßnahmen, Kosten und das verfügbare Budget. Aufgrund der gegenseitigen Beeinflussung der einzelnen Parameter und Anlagen bietet dTIMS unterschiedliche Möglichkeiten für Optimierungen an, welche die jeweiligen Kosten dem Nutzen gegenüberstellen. Deighton [19] unterscheidet dabei zwei Ansätze, welche sich in der jeweiligen Betrachtungsebene unterscheiden:

**Project Level Analysis** Mit Hilfe der Analyse auf Projektebene kann für jede Anlage jene Strategie ermittelt werden, welche das beste Kosten-Nutzen-Verhältnis liefert. Dies ist auch für mehrere Anlagen in einer Datenbank möglich.

**Network Level Analysis** Die Analyse auf Netzwerkebene berücksichtigt bei der Kosten-Nutzen-Ermittlung alle Anlagen im ausgewählten Netzwerk. Hierbei werden auch gegenseitige Beeinflussungen berücksichtigt, um Erhaltungsmaßnahmen zusammenfassen zu können und den optimalen Einsatz auf Netzebene zu finden.

Die Verwaltung und Zusammenstellung von Analysen erfolgt in dTIMS unter dem Reiter **Analysis Configuration**. In den anschließenden Abschnitten werden die einzelnen Bestandteile einer Analyse näher erläutert und deren Zusammenhänge erklärt.

### 4.3.1 Master-Tabellen

Für die Durchführung einer Analyse benötigt dTIMS zunächst eine Master-Tabelle (**Analysis Master Table**), die alle erforderlichen Daten enthält [9, 47]. Im Regelfall sind in dieser Informationen zum Inventar, Zustand, Klassifizierungen, Projektdaten und historische Daten (z. B. Erhaltungsmaßnahmen) zusammengefasst. Für den Fall, dass mehrere Anlagentypen (Straßen, Brücken, Tunnel etc.) in einer Analyse betrachtet werden sollen, ist für jeden eine eigene Master-Tabelle anzulegen. Dies können sowohl Punkt- als auch Abschnittstabellen sein. Die Erstellung der **Master Table** erfolgt gemeinsam mit den anderen Tabellen unter **Database Configuration** → **Tables**.

Bei der Zusammenstellung der Master-Tabelle ist insbesondere auf den notwendigen Tabellentyp zu achten. Handelt es sich bei den betrachteten Objekten um längenbezogene Elemente, dann ist zusätzlich zu berücksichtigen, dass die Eigenschaften jedes Elements über dessen Länge konstant sein müssen. Hierfür ist die automatische Ermittlung von homogenen Abschnitten anhand festgelegter Kriterien mittels **dFRAG Automatic Sectioning** hilfreich, deren Basis eine Datenansicht mit den zu betrachtenden Elementen und Attributen bildet. Der Prozess beinhaltet zunächst eine SCD-Abfrage mit einer anschließenden Sortierung der erzeugten Abschnitte entsprechend der vom Anwender vorgegebenen Betrachtungsreihenfolge. Abschließend werden aufeinanderfolgende Abschnitte mit konstanten Daten wieder zu längeren Streckenabschnitten zusammengefasst.

### 4.3.2 Prognosemodelle und Analysevariablen

Die Prognose der Entwicklung von Zuständen und Verkehrsaufkommen spielt für die Analyse von Lebenszyklusbetrachtungen eine wesentliche Rolle. Diese können in dTIMS über **Deterioration Models** auf Grundlage von Analysevariablen (**Analysis Variables**) definiert werden. Letztere beschreiben die zeitliche Veränderung eines Attributs, dessen Ausgangswert in der Master-Tabelle abgelegt ist. Die somit prognostizierten Kurven finden zur Abbildung von Zustands-, Verkehrs- oder Kostenverläufen Anwendung. In dTIMS werden generell die folgenden vier Arten von Analysevariablen unterschieden, welche in Abb. 4.3 zu sehen sind:

- **Annual Analysis Variable:** Die jährlichen Analysevariablen (blau) werden jährlich neu anhand eines Prognosemodells ausgehend vom Startwert aus der Datenbank berechnet. Durch Maßnahmen kann es dabei auch zu Sprüngen im Verlauf kommen. Diese Variable eignet sich insbesondere für die Abbildung von Zustandsverläufen und Verkehrsentwicklungen.
- **Compilation Analysis Variable:** Eine Summationsvariable (rot) stellt eine einmalige Berechnung am Ende der Betrachtungsperiode dar. Sie summiert die aufgetretenen Werte eines Attributs über den definierten Zeitraum auf. Sie kann beispielsweise für die Ermittlung der Gesamtkosten und Nutzen angewendet werden.

- **Dynamic Analysis Variable:** Dynamische Analysevariablen (grün) beginnen mit dem Startwert der Master-Tabelle und weisen eine sprunghafte Veränderung bei der Durchführung einer Maßnahme auf. Dies ist beispielsweise bei der Beschreibung von Schichtdicken oder Konstruktionsdaten von Straßen nützlich.
- **Static Analysis Variable:** Mit Hilfe von statischen Analysevariablen (orange) lassen sich zeit- und maßnahmenunabhängige Werte abbilden. Diese entsprechen im Wesentlichen dem Startwert aus dem jeweiligen Attribut der Master-Tabelle und weisen eine konstanten Funktion auf.

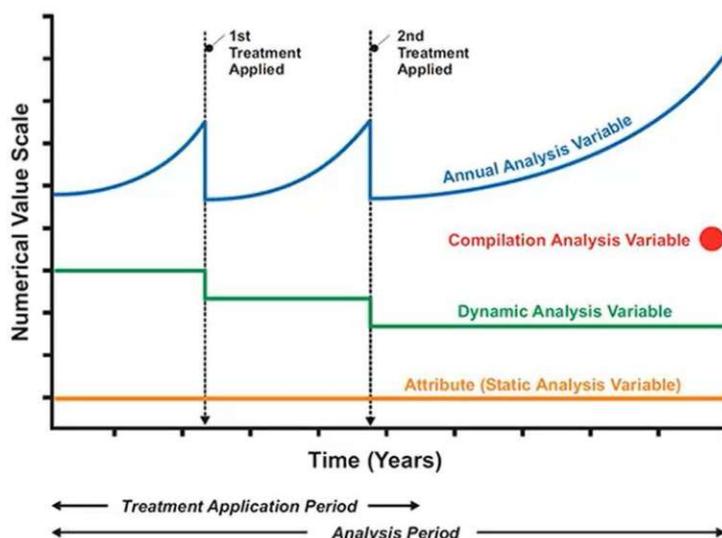


Abb. 4.3: Graphische Darstellung von Analysis Variables [9]

Das mathematische Modell zur Beschreibung der Veränderung von Analysevariablen wird über **Analysis Expressions** festgelegt. Diese ähneln den in Abschnitt 4.2.1 beschriebenen **Database Expressions** und werden ebenfalls im **Expression Editor** erstellt. Als Erweiterung besteht zusätzlich die Möglichkeit, andere Analysevariablen direkt in die Berechnung mit einzubeziehen. Auch bei Analysevariablen und **Analysis Expressions** besteht in dTIMS die Möglichkeit des Exports in eine Excel-Datei, in der diese bearbeitet und erstellt werden können. Über den Import erfolgt eine Übernahme der dort getätigten Änderungen.

### 4.3.3 Erhaltungsmaßnahmen

Entlang des Lebenszyklus werden Erhaltungsmaßnahmen (**Treatments**) durchgeführt, um den Zustand einer Anlage zu verbessert bzw. den Alterungsprozess zu verlangsamen [28, 47]. Diese beeinflussen den Verlauf von jährlichen und dynamischen Analysevariablen und verursachen dabei Kosten. Werden eine oder mehrere Maßnahmen innerhalb des Betrachtungszeitraums gemeinsam betrachtet, so nennt man deren Zusammenhang eine Strategie. dTIMS unterscheidet drei wesentliche Maßnahmenarten:

- **Major Treatment:** Hauptmaßnahmen stellen große Instandsetzungs- oder Erneuerungsmaßnahmen dar, von denen nur eine pro Jahr durchgeführt wird. Innerhalb eines Analysezeitraums können allerdings mehrere **Major Treatments** nacheinander erforderlich sein.

- **Minor Treatment:** Kleinere Erhaltungsmaßnahmen können in dTIMS mehrmals im Jahr durchgeführt werden, wenn dies erforderlich ist. Instandhaltungen, wie beispielsweise das Vergießen von Rissen oder Füllen von Schlaglöchern, sind üblicherweise den **Minor Treatments** zuzuordnen.
- **Ancillary Treatment:** Die in dTIMS definierten Hilfsmaßnahmen stellen zusätzliche Maßnahmen dar, die zusammen mit **Major** oder **Minor Treatments** durchgeführt werden können. Mit Hilfe des Optimierungsprozesses sucht das Programm anhand eines Maßnahmenkatalogs nach Objekten, die zusammen mit den geplanten Maßnahmen behandelt werden können, von ihnen jedoch nicht direkt betroffen sind. Dies betrifft zum Beispiel Gehwege, Leiteinrichtungen oder Straßenbeleuchtungen. Zusätzlich zu den nachfolgenden Angaben muss bei der Erstellung einer neuen Zusatzmaßnahme die Verknüpfung mit mindestens einem **Treatment** erfolgen.

Unabhängig von der Art der Maßnahme sind bei deren Erstellung wichtige Angaben zu den Kosten, dem auslösenden Faktor, den Auswirkungen und Folgemaßnahmen zu definieren. Tab 4.3 gibt einen Überblick über die wichtigsten Angaben. Generell ist die Bearbeitung von **Treatments** nicht nur über **Analysis Configuration**→**Treatments**, sondern auch über das Ex- und Importieren von Excel-Tabellen möglich.

**Tab. 4.3:** Erforderliche Angaben beim Anlegen von **Treatments** in dTIMS [28]

Angabe	Beschreibung
<b>Treatment Costs</b>	beschreibt Kosten, die durch die Maßnahme verursacht werden. Die Angabe erfolgt über Einheitskosten ( <b>Unit Costs</b> ) in einer Hilfstabelle und werden mittels <b>Analysis Expressions</b> für den betroffenen Anlagenteil ermittelt. Sie können in <b>Financial Costs</b> und <b>Economic Costs</b> unterteilt werden. Die Zuordnung zur jeweiligen Maßnahme erfolgt über die <b>Budget Categories</b> (siehe Abschnitt 4.3.5).
<b>Interval Year</b>	gibt an, wie lange keine andere Maßnahme geplant werden soll. dTIMS setzt innerhalb dieses Intervalls die Überprüfung des <b>Treatment Triggers</b> aus.
<b>Treatment Trigger</b>	bestimmt über eine Bool'sche Funktion, ob die Maßnahme entsprechend den angegebenen Kriterien (Zustandswert oder Abstand zur letzten Maßnahme) anzuwenden ist. Dabei wird eine <b>Analysis Expression</b> als Filter verwendet.
<b>Treatment Resets</b>	definiert die sprunghafte Veränderung von jährlichen und dynamischen Analysevariablen bei Anwendung der Maßnahme. Der Rücksetzwert wird über <b>Analysis Expressions</b> beschrieben, wobei auch ein Wechsel des Prognosemodells möglich ist, beispielsweise aufgrund eines Materialaustauschs.
<b>Subsequent Treatments</b>	ermöglicht bei <b>Major Treatments</b> die Angabe der Reihenfolge typischer Folgemaßnahmen.

#### 4.3.4 Analysesets und Maßnahmenstrategien

Für die Durchführung einer Lebenszyklusanalyse ist in dTIMS die Definition eines Analysesets (**Analysis Set**) erforderlich [10, 47]. Dieses beinhaltet alle wesentlichen Informationen für die

zu untersuchenden Anlagen und Strategien, um das gewünschte Zustandsziel zu untersuchen. Hierfür ermittelt das Programm nach dem Start der Analyse über die Schaltfläche **Execute** automatisch unterschiedliche Maßnahmenabfolgen und -zeitpunkte inkl. deren Auswirkungen auf Kosten und Nutzen. Bei der Erstellung des Analysesets verlangt dTIMS daher nach der Festlegung der Randbedingungen über folgende Angaben:

- **Master Table:** Bestimmung der Master-Tabelle für die Analyse;
- **Condition Variable:** Festlegung, welche Zustandsvariable für die Analyse herangezogen wird und Basis des Zustandsverteilungsdiagramms;
- **Discount Rate:** Prozentwert zur Bestimmung der Diskontierung, um Barwerte zu erhalten;
- **Start Year, End Year:** Start und Ende des Analysezeitraums;
- **End Performance Plot Year:** Festlegung des letzten Jahres der graphischen Darstellung, muss innerhalb des Analysezeitraums liegen;
- **End Treatment Application Year:** Letztes Jahr, in dem eine Erhaltungsmaßnahme stattfinden soll, üblicherweise zumindest 5 Jahre vor Ende des Analysezeitraums;
- **Inflation Rate:** Prozentwert zur Berücksichtigung der Inflation;
- **Strategy Table:** Name für die automatisch erstellte Strategietabelle;
- **Traffic Variable:** Bestimmung der Analysevariable für das Verkehrsaufkommen, ist Standardwert für das Verkehrsverteilungsdiagramm;
- **Analysis Variables:** Festlegung welche Analysevariablen und Prognosemodelle berücksichtigt werden sollen, sowie
- **Treatments:** Maßnahmenkatalog mit den möglichen Erhaltungsmaßnahmen.

Grundsätzlich berücksichtigt dTIMS [10] bei der Berechnung eines **Analysis Sets** neben angegebenen Maßnahmen zumindest zwei vordefinierte Strategien: **Do Nothing** und **Maintenance Only**. Bei der **Do Nothing Strategy** werden keine Erhaltungsmaßnahmen in der Betrachtungszeit berücksichtigt. Die **Maintenance Only Strategy** betrachtet jene Entwicklung, bei der ausschließlich **Minor Treatments** Anwendung finden. Diese beiden Strategien nutzt dTIMS als Grundlage für die Einordnung aller weiteren Maßnahmenstrategien. Die Ergebnisse der Analysen stellt das Programm im Anschluss automatisch in einer eigens erzeugten **Dataview** zusammen, welche im **Register Review and Adjust** zu finden ist (siehe hierzu Abschnitt 4.4.4).

#### 4.3.5 Budgetszenarien

Zur Durchführung einer **Analysis** sind in dTIMS zusätzlich zu den Analysesets noch Budgetszenarien (**Budget Scenarios**) erforderlich, mit deren Hilfe die Optimierung genauer definiert wird [13, 47]. Sie bestimmen auf der einen Seite den verfolgten Optimierungsansatz sowie die Analysevariablen, die für Kosten und Nutzen Anwendung finden, und auf der anderen Seite das verfügbare Budget. Bei letzterem ist die Definition unterschiedlicher Budgetkategorien (**Budget Categories**) zur Gruppierung der geplanten Ressourcen möglich. Dies kann beispielsweise für die Berücksichtigung unterschiedlicher Budgettöpfe für Wartungsarbeiten und Sanierungen genutzt werden. Die einzelnen Budgetkategorien bilden in dTIMS die Verknüpfung von Maßnahmen mit den zugehörigen Kosten.

Die Budgetszenarien (**Budget Scenarios**) untersuchen unterschiedliche Investitionsmöglichkeiten und -verteilungen für das betrachtete Netzwerk [13, 47]. Sie stellen die zu investierenden Mittel dem dadurch entstehenden Nutzen gegenüber und bieten so eine Entscheidungshilfe für die Planung zukünftiger Maßnahmen. dTIMS ermöglicht damit sowohl die Ermittlung eines erforderlichen Budgets zur Erreichung von vorgegebenen Zustandszielen als auch die Berechnung von möglichen Zustandsverläufen mit einem vorgegebenen Budget. Deighton [13] bietet für die Optimierung drei unterschiedliche Ansätze:

1. **Maximize Benefits using IBC**: Optimierung des Nutzens mittels **Incremental Cost Benefit (IBC)** Ansatz, bei dem die Strategie mit dem höchsten Nutzen für das betrachtete System innerhalb des vorgegebenen Budgets ermittelt wird. Die Gegenüberstellung erfolgt dabei in dTIMS über ein Effizienzdiagramm mit den Kosten auf der Abszisse und dem Nutzen auf der Ordinate.
2. **Maximize Benefits using other criteria**: Optimierung mit Maximierung des Nutzens unter Angabe einer beliebigen Analysevariablen zur Ermittlung und dem Vergleich zwischen mehreren Strategien.
3. **Minimize Cost**: Die Optimierung sucht bei dieser Variante für jede Anlage die Strategie mit den geringsten Kosten. Die Angabe eines Budgets kann daher entfallen. Es ist allerdings eine Bool'sche Analysevariable für die Entscheidung erforderlich, ob eine Strategie angewendet werden kann.

Grundsätzlich können in dTIMS beliebig viele Budgetszenarien angelegt werden. Sie funktionieren jedoch nur in Verbindung mit einem Analyseset. Dabei besteht die Möglichkeit, mehrere Szenarien ein und der selben Analyse zuzuordnen. Beim Erstellen eines neuen Budgetszenarios benötigt dTIMS die Definition der Randbedingungen über folgende Angaben:

- **Continued Optimization**: Bei Auswahl dieser Option wird die Optimierung auch fortgesetzt, wenn das Budget ausgeschöpft ist und **Do Nothing** nicht berücksichtigt wird. Andernfalls wird die Optimierung mit einer Fehlermeldung abgebrochen (nur bei **Maximize Benefits using IBC** anwendbar).
- **Multi Pass**: aktiviert eine neue Optimierung bei Auswahl einer alternativen Strategie, um die geänderten Ressourcen zu berücksichtigen (nicht bei **Minimize Cost** anwendbar).
- **Use Total Budget**: erlaubt dTIMS das gesamte Budget bei der Optimierung zu verwenden ohne Berücksichtigung der **Budget Categories** (nicht bei **Minimize Cost** anwendbar).
- **Type**: gibt die Art der Optimierungsmethode an.
- **Analysis Set**: gibt das verwendete Analyseset an.
- **Chart Colour**: ist die Farbe für die Anzeige des Budgetszenarios in den Übersichtsdiagrammen.
- **Target Filter**: ist der Filter zur Definition der betrachteten Anlagen in der Optimierung.
- **Unlimited Budget**: legt fest, dass bei der Optimierung für jede Anlage der größte Nutzen unabhängig vom vorgegebenen Budget ermittelt wird (nur bei **Maximize Benefits using IBC**).
- **Execute Workflow**: ist die Vorgabe einer Tätigkeit, die von dTIMS nach Durchführung der Analyse ausgeführt wird.

- **Start IBC At Do Nothing:** definiert, ob die **Do Nothing Strategy** als Ausgang der Optimierung genutzt wird (nur bei **Maximize Benefits using IBC**).
- **Strategies to Include:**
  - **Committed:** sorgt dafür, dass bereits zugesicherte Projekte in der Optimierung bevorzugt behandelt werden.
  - **Do Nothing:** entscheidet, ob die **Do Nothing Strategy** genutzt wird, andernfalls beginnt die Optimierung bei der Minimalkostenstrategie.
- **Variables:**
  - **Benefit:** Analysevariable für Nutzen, wird bei Optimierung maximiert (nicht bei **Minimize Cost**),
  - **Cost:** Analysevariable für Kostenberechnung (nicht bei **Minimize Cost**) sowie
  - **Exclude:** Ausschluss von Strategien mittels zusammengesetzter Analysevariablen als Kriterien (nur bei **Maximize Benefits using IBC**).
- **Budget:** definiert das jährliche Budget je **Budget Category**.

Deighton [13] empfiehlt für jede Analyse mehrere **Budget Scenarios** anzulegen, um das optimale Resultat zur Wahrung eines definierten Zustands zu erhalten. Dabei sollte neben dem **Do Nothing Scenario** zumindest ein Szenario mit einem größeren Budget als tatsächlich vorhanden ist und mehrere Szenarios mit einem kleineren Budget betrachtet werden.

## 4.4 Ausgabe der Ergebnisse

Im Anschluss an eine durchgeführte Analyse ist eine Darstellung der Ergebnisse mittels **Reporting** erforderlich, um diese weiteren Überprüfungen und Entscheidungsprozessen zugrunde legen zu können [23, 47]. In dTIMS bestehen mehrere Möglichkeiten, diese Ergebnisse darzustellen, welche unter den Menüpunkten **Analysis Results**, **Map** bzw. **Reports** zu finden sind. Abhängig vom gewünschten Fokus bei der Betrachtung kann zwischen unterschiedlichen Diagrammen, Tabellen und Plandarstellungen gewählt werden. Die nachfolgenden Abschnitte beschreiben die einzelnen Berichtsarten (**Reports**) näher.

### 4.4.1 Budget-Diagramme

Die Darstellung der Analyseergebnisse über Budget-Diagramme (**Budget Charts**) dient der Überprüfung und dem Vergleich unterschiedlicher Budgetszenarien [14, 47]. dTIMS ermöglicht hierfür unterschiedliche Diagrammdarstellungen, welche entsprechend der Auswahl des **Analysis Sets** und **Budget Scenarios** automatisch generiert werden. Die unterschiedlichen Diagrammtypen ermöglichen eine individuelle Betrachtung der Ergebnisse gemäß deren Fokus:

- **Program Cost:** zeigt die jährlichen Kosten für Maßnahmen getrennt nach Budgetkategorien innerhalb des Analysezeitraums.
- **Treatment Cost:** stellt die jährlichen Kosten für die unterschiedlichen Maßnahmenarten für die gesamte Analyseperiode dar.
- **Treatment Length:** bildet die Gesamtlängen der betroffenen Elemente je Maßnahmenart pro Jahr der Analyse ab.

- **Condition Distribution:** zeigt die prozentuale Zustandsverteilung aller Elemente entsprechend den definierten Zustandskategorien über den Analysezeitraum.
- **Travel Distribution:** stellt die Verteilung des Verkehrsaufkommens bezogen auf den Zustand der Objekte dar, auf denen dieser anfällt.

Zusätzlich zur grafischen Abbildung mittels Säulendiagrammen gibt dTIMS die betreffenden Daten auch als tabellarische Auflistung unter dem Reiter **Data** wieder. Diese kann zur weiteren Betrachtung oder Übermittlung als Excel-Tabelle exportiert werden.

#### 4.4.2 Budgetvergleich

Mittels Budgetvergleich (**Budget Comparision**) ist ebenfalls der Vergleich unterschiedlicher Budgetszenarien innerhalb des Analysezeitraums möglich [12, 47]. Dabei ist neben dem **Analysis Set** und dem **Budget Scenario** zusätzlich die gewünschte Analysevariable zu wählen. dTIMS erstellt anschließend anhand der Auswahl folgende Liniendiagramme:

- **Average Condition:** stellt den gewichteten Mittelwert des Gesamtnetzes für jedes Jahr des Analysezeitraums dar. Dabei werden mehrere Budgetszenarien in einem Diagramm dargestellt, um die Entwicklung der gewählten Analysevariable vergleichen zu können.
- **Length in Backlog:** zeigt pro Jahr die Summe jener Elemente, die sich in den beiden schlechtesten Zustandskategorien der gewählten Analysevariable befinden.

Die Datengrundlage der beiden Liniendiagramme ist wiederum in tabellarischer Form unter **Data** zu finden. Mit Hilfe des Exports können diese direkt als Excel-Datei heruntergeladen werden.

#### 4.4.3 Bauprogramm

Über das Bauprogramm (**Construction Program**) bietet dTIMS die Möglichkeit, die schlussendlich gewählte und optimierte Strategie inkl. den dazugehörigen Maßnahmen als Excel- oder Datenbankdatei zu exportieren [15, 47]. Hierfür ist der Durchlauf der Analyse, Optimierung und Überprüfung der Ergebnisse im Vorfeld zwingend notwendig. Der Export des Bauprogramms sollte stets den letzten Schritt darstellen. Für ein optimales Ergebnis sind neben der Angabe von Analyseset und Budgetszenario zusätzlich die Art der Sortierung (nach Abschnitt oder Jahr), das Start- und Endjahr sowie die gewünschten Maßnahmen auszuwählen. Die generierte Tabelle kann anschließend wieder über die Schaltfläche **Export** im erforderlichen Dateiformat heruntergeladen werden.

#### 4.4.4 Überprüfen und Anpassen

dTIMS gibt dem Anwender über den Reiter Überprüfen und Anpassen (**Review and Adjust**) die Chance, die Analyseergebnisse für jedes einzelne Element zu überprüfen [24, 47]. Dafür sind zunächst das gewünschte Analyseset und Budgetszenario auszuwählen. Anschließend gibt das Programm die optimale Strategie für jedes Element über fünf Teilbereich wieder:

- **Elements:** Tabelle mit allen Elementen des Analysesets,
- **Strategies:** Darstellung aller möglichen Strategien für ein ausgewähltes Element,
- **Variables:** Verlauf der betroffenen Analysevariable aufgrund der gewählten Strategie,

- **Treatments:** Tabelle mit den Maßnahmen entsprechend der gewählten Strategie inkl. den dazugehörigen Informationen sowie
- **Budgets:** Darstellung des Budgets aufgeteilt nach den **Budget Categories**.

Die von dTIMS vorgeschlagene optimale Strategie kann im Bereich **Review and Adjust** für jedes Element frei verändert und angepasst werden. Dabei beeinflussen sich die fünf Teilbereiche gegenseitig, wodurch bei der Auswahl des gewünschten Elements alle Bereiche die Informationen dazu wiedergeben. Einige der Darstellungen sind sowohl als Diagramme, als auch in tabellarischer Form wählbar. Die zugrundeliegenden Ergebnisse können anschließend mittels Export in eine Excel-Tabelle übertragen werden.

#### 4.4.5 Modul für die strategische Analyse

Das Modul für die strategische Analyse (**Strategic Analysis Module (SAM)**) ist in dTIMS unter dem Menü **Analysis Configuration** zu finden [25, 47]. Es stellt eine automatische Optimierung der Maßnahmenplanung anhand mehrerer „Was wäre, wenn ...“-Fragen dar, wie beispielsweise „Welchen Effekt hätte eine Budgeterhöhung um  $X\text{€}$  auf den Netzzustand?“. Unter Einbeziehung unterschiedlicher Budgets kann somit die optimale Investitionshöhe ermittelt werden. Die Ergebnisse einer **SAM**-Analyse speichert dTIMS automatisch in den **Budget Scenarios**. Hier können alle Ergebnisse mittels den üblichen Diagrammen und Datentabellen der Budgetszenarien überprüft werden. Über einen Schieberegler ist die Anpassung des Budgets für jedes Objekt möglich. Die Endergebnisse können unter dem Menüpunkt **Analysis Results** betrachtet werden.

#### 4.4.6 Kartendarstellung

Mit Hilfe der Kartendarstellung (**Map**) lassen sich große Datenmengen in dTIMS übersichtlich visuell abbilden [21, 47]. Zur Auswahl stehen dabei als **Base Map** unterschiedliche Darstellungen von Bing (Aerial, Road und Hybrid) oder OpenStreetMap. Durch die Definition von **Layern** lassen sich vorhandene Attribute, Tabellen, Maßnahmen und Ausdrücke farblich auf der Karte darstellen. Damit ist beispielsweise die Veranschaulichung der unterschiedlichen Straßenarten (Hauptstraßen, Zubringerstraßen etc.), Aufbauarten (Beton, Asphalt, Beton mit Asphaltdeckschicht etc.) oder auch die aktuellen Zustandskategorien möglich.

### 4.5 Zusammenfassung der Grundlagen des Deighton Total Infrastructure Management Systems (dTIMS)

Das vorliegende Kapitel gibt einen zusammenfassenden Überblick über die Funktionen und Anwendung der Softwarelösung dTIMS. Dies beginnt mit der Erklärung des grundlegenden Aufbaus einer Datenbank mittels Tabellen, Attributen und Elementen. Aufbauend auf diesen Grundlagen erfolgt die Beschreibung der Datenverarbeitungsvarianten. In dTIMS stehen vier unterschiedliche Möglichkeiten (**Database Expressions, Dataviews, Data Transformations** und **Queries**) für die Bearbeitung, Modifizierung und Visualisierung der Datensätze zur Verfügung. Detaillierte Informationen zu den einzelnen Varianten können in den Abschnitten 4.2.1 bis 4.2.4 nachgelesen werden.

Das Herzstück des Datenmanagementsystems stellen die Analysen (**Analysis**) dar. Auf Basis von Prognosemodellen für die Zustandsentwicklung und Verkehrsdaten, möglichen Erhaltungsmaßnahmen, Kosten und Budgetvorgaben können auf diese Weise Lebenszyklusbetrachtungen mit Optimierungen erfolgen. Die Gegenüberstellung von Kosten und Nutzen auf Projekt- oder

Netzwerkebene generiert die wirtschaftlichste Lösung für die gewählte Betrachtungsebene. Abschnitt 4.3 beschreibt die einzelnen Bestandteile zur Erstellung einer Analyse und erläutert deren Zusammenhänge.

Den Abschluss des Kapitels bilden die unterschiedlichen Darstellungen der erhaltenen Ergebnisse mittels Budget-Diagrammen, Budgetvergleich, Bauprogramm, strategischen Analysen und Kartendarstellung. Sie dienen der weiteren Überprüfung und als Grundlage für den strategischen Entscheidungsprozess der Erhaltungsplanung. Aufbauend auf diesem grundlegenden Verständnis für die Arbeitsweise mit dem Management-System dTIMS kann im nächsten Schritt auf die Analyse der Bestandsdatenbanken und die anschließende Implementierung des technischen Anlagenwerts eingegangen werden.

## Kapitel 5

# Anwendung des technischen Anlagenwerts auf das ASFINAG-Netz

Auf Grundlage der Ausführungen zum Berechnungsalgorithmus des technischen Anlagenwerts von Infrastrukturanlagen und den Kenntnissen des derzeit bei der ASFINAG angewendeten Datenmanagementsystems kann die Zusammenführung dieser beiden Bereiche erfolgen. Hierfür wurde von der ASFINAG und der Firma Deighton eine Kopie der wesentlichen Inhalte der Datenbanken für den Straßenoberbau, Brücken und Tunnel mit einem Datenstand aus dem Jahr 2020 bzw. 2021 zur Verfügung gestellt. Diese stellen die Ausgangsbasis für die Zustandsprognosemodelle mit den voreingestellten Startjahren 2020 – für Brücken und Tunnel – bzw. 2022 – für den Straßenoberbau – der Betrachtungsperioden dar. In den zur Verfügung gestellten Datenmanagementsystemen sind Lebenszyklusbetrachtungen inkl. den Entscheidungen bezüglich Erhaltungsmaßnahmen unter Berücksichtigung des bereits geplanten Bauprogramms für das höherrangige österreichische Verkehrswegenetz enthalten. Dabei werden für die Prognosen des Straßenoberbaus die Daten des Bauprogramms aus dem Jahr 2021 (mit Startjahr 2022) und für die Brücken jenes aus dem Jahr 2019 (mit Startjahr 2020) angewendet. In der Tunneldatenbank sind keine Bauprogramme enthalten. Aufbauend auf den bereits vorhandenen Zustandsprognosemodellen und Erhaltungsstrategien soll in weiterer Folge der technische Anlagenwert als zusätzliche Entscheidungsgröße direkt in das bestehende PMS, BMS und TMS integriert werden. Hierfür ist in einem ersten Schritt die Analyse der vorhandenen Eingangsgrößen für den technischen Anlagenwert erforderlich. Im Anschluss können die notwendigen Ergänzungen in der Master-Tabelle vorgenommen werden, bevor schließlich die Implementierung der Berechnungen und Variablen sowie der Export der Ergebnisse erfolgt. Dieses Kapitel beschreibt den Weg der Implementierung des technischen Anlagenwerts inkl. seiner Teilwerte im bestehenden Datenmanagementsystem von der Auswertung der vorhandenen Datengrundlagen bis hin zur Abbildung der erhaltenen Ergebnisse für das Gesamtnetz.

### 5.1 Analyse der Daten und Tabellen in den vorhandenen Datenmanagementsystemen

Entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 3.2.2 müssen zur Anwendung des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert Eingangsgrößen in den Bereichen Netz- und Referenzierungsdaten, aktueller Zustand, Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung, Inventardaten, Beanspruchungen und Kosten mit unterschiedlicher Datenqualität und -quantität vorhanden sein. Im ersten Schritt erfolgt zur Beurteilung der vorhandenen Daten eine Analyse der Master-Tabellen für die Lebenszyklusbetrachtungen in den einzelnen Datenbanken. Dies wird für die drei Anlagenarten Straßenoberbau, Brücke und Tunnel getrennt voneinander durchgeführt, da jeder Anlagentyp derzeit in einem eigenen Datenmanagementsystem erfasst wird. Für den Fall, dass Eingangsgrößen nicht direkt aus den Master-Tabellen entnommen werden können, wurden zunächst die weiteren Tabellen der Datenbank und anschließend Informationen und Quellen

entsprechend den Vorgaben des *TAniA*-Endberichts [90] zusammengetragen. Die Ergebnisse der Analysen im Sinne des technischen Anlagenwerts sind in den nachfolgenden Abschnitten für die einzelnen Datenbanken aufgelistet.

### 5.1.1 Vorhandene Eingangsgrößen im Pavement Management System (PMS)

Für die Berechnung der Lebenszyklusanalyse des Straßenoberbaus verwendet die ASFINAG eine umfassende Datenbank der Firma Deighton, welche alle Anforderungen und Vorgaben der *RVS 13.04.01* [72] berücksichtigt. Die Basistabelle *N\_Strasse* bildet die Netzdaten ab und wird zur Verortung mit dem Bezugssystem herangezogen. Zusätzlich ist eine Vielzahl an unterschiedlichen Tabellen für verschiedene Aufgabenbereiche in der Datenbank vorhanden, wie Netzdaten, Verkehrsdaten, Unfalldaten, Instandhaltungen und Objektdaten. In der Tabelle *P\_Oberbau\_aktuell* werden beispielsweise die konstruktiven Informationen zu den derzeit im Straßennetz vorhandenen Oberbautypen gesammelt. Da die Ermittlung des technischen Anlagenwerts auf der bereits vorhandenen Lebenszyklusanalyse aufbauen soll, ist insbesondere die dafür erstellte Master-Tabelle *P\_LCCA\_hom* von großer Bedeutung (siehe Abb. 5.1).

RoadName	Name	OB_ALTER_CTA	OB_ALTER_CTA	OB_Bautyp_akt	OB_Bautyp_HFS	OB_Bautyp_Neu	OB_Bautyp_NFS	OB_Bauweise_H	OB_Bauweise_N	OB_Dick
A01_1	A01_1/8600			AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/8936	10	10	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/9558			BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	22,0
A01_1	A01_1/7864	15	15	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/9935	7	7	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/28956	7	7	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/30600	7	7	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/30615			BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	22,0
A01_1	A01_1/31950	5		BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	15,2
A01_1	A01_1/32568			BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	22,0
A01_1	A01_1/35000	31	31	AS1	BT14_V-Bautype 1-4	AS1	BT14_V-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/37600			BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	22,0
A01_1	A01_1/40700	32	32	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	ASPHALT-Asphaltba.	ASPHALT-Asphaltba.	3,5
A01_1	A01_1/46980	10		AS1	BT14_V-Bautype 1-4	BE1	BT56_D-D-Bautype	ASPHALT-Asphaltba.	BETON-Betonbauwe.	4,0
A01_1	A01_1/52100	10	15	AS1	BT14_V-Bautype 1-4	BE1	BT56_D-D-Bautype	ASPHALT-Asphaltba.	BETON-Betonbauwe.	4,0
A01_1	A01_1/59000	31		AS1	BT14_V-Bautype 1-4	BE1	BT56_D-D-Bautype	ASPHALT-Asphaltba.	BETON-Betonbauwe.	4,0
A01_1	A01_1/59077	6		AS1	BT14_V-Bautype 1-4	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	ASPHALT-Asphaltba.	BETON-Betonbauwe.	3,0
A01_1	A01_1/80022	17		AS1	BT14_V-Bautype 1-4	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	ASPHALT-Asphaltba.	BETON-Betonbauwe.	3,5
A01_1	A01_1/81500	5	15	AS1	BT14_N-Bautype 1-4	BE1	BT56_D-D-Bautype	ASPHALT-Asphaltba.	BETON-Betonbauwe.	4,0
A01_1	A01_1/84370			BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	25,0
amt_1	amt_1/78408			BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BE1	BT56_N-Bautype 5-6	BETON-Betonbauwe.	BETON-Betonbauwe.	25,0

Abb. 5.1: Ausschnitt aus der Master-Tabelle *P\_LCCA\_hom* für Lebenszyklusanalysen des Straßenoberbaus

Für die Implementierung der einzelnen Berechnungen und Variablen ist zunächst die Analyse der vorhandenen Eingangsgrößen in dieser Tabelle erforderlich. Etwaige Ergänzungen von fehlenden Werten wurden entsprechend den Vorgaben des *TAniA*-Endberichts [90] vorgenommen. Die Analyse lieferte für die einzelnen Kategorien folgende Ergebnisse:

**Netz- und Referenzierungsdaten:** Grundsätzlich erfolgt die Verortung der Straßenabschnitte über die Referenzierung der Basistabelle *N\_Strasse*. Die wesentlichen Informationen für die örtliche Zuordnung und Verknüpfung mit den GIS-Daten stellen die bereits übertragenen Attribute dar:

- *RoadName*,
- *Name*,
- *From*,
- *To*,
- *Length*,
- *BB\_Laenge*,
- *BB\_Objektbezeichnung* sowie
- *BB\_Objektkurzbezeichnung*.

**Aktueller Zustand:** Die Master-Tabelle beinhaltet die aktuellen Zustandswerte und Zustandsgrößen für alle Zustandsmerkmale (Spurrinnen, Längsebenheit, Griffigkeit, Oberflächenschäden und Risse) getrennt nach Haupt- und Nebenfahstreifen sowie die Teilwerte des Gebrauchs- und Substanzwerts. Diese wurden bereits vorab aus den einzelnen Tabellen der Datenbank übertragen. Für den technischen Anlagenwert und dessen Teilwerte sind insbesondere folgende Attribute von Bedeutung:

- *ZU\_ZW\_GI\_HFS*,
- *ZU\_ZW\_GI\_NFS*,
- *ZU\_ZW\_SI\_HFS* sowie
- *ZU\_ZW\_SI\_NFS*.

**Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung:** Die Ermittlung der zukünftigen Zustandsverläufe erfolgt im PMS auf Basis der bisherigen Zustandsentwicklungen und berücksichtigt abhängig vom gewählten Budget **Scenario** zunächst das Bauprogramm und anschließend die Optimierung gemäß dem vorgegebenen Budget. Zusätzlich ist über ein eigenes Analyseset eine Prognose über Standardlebenszyklen möglich.

**Inventardaten:** Die Inventardaten der wesentlichen konstruktiven Eigenschaften (z. B. Bauweise, Material, Alter etc.) spielen für den technischen Anlagenwert an dieser Stelle eine untergeordnete Rolle, da sie bereits in den Zustandsprognosemodellen des PMS berücksichtigt wurden. Für die Implementierung des technischen Anlagenwerts sind daher nur die Informationen zum Ausmaß des Straßenabschnitts erforderlich. In der Master-Tabelle der IMT-Datenbank finden sich hierfür Inventardaten entsprechend den Vorgaben der *RVS 13.04.01* [72] wie folgt:

- *GEO\_Flaeche\_FB* in [m<sup>2</sup>] sowie
- *GEO\_Flaeche\_HFS* in [m<sup>2</sup>].

Die Fläche der Nebenfahstreifen kann über die Differenz von Gesamtfläche der Fahrbahn und Fläche des Hauptfahstreifens ermittelt werden. Dadurch ist sichergestellt, dass auch wirklich alle Flächen der Fahrbahn im technischen Anlagenwert berücksichtigt sind.

**Beanspruchungen:** Diese werden für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts nicht gesondert benötigt, da die standortspezifischen Beanspruchungen bereits über die Prognose der Zustandsentwicklung im PMS berücksichtigt sind. Die Master-Tabelle enthält hierfür unter anderem Informationen zur Verkehrsbelastung inkl. Schwerverkehr und zum Frostindex.

**Kosten:** Die Kostenkennwerte für die Erneuerung von Anlagenteilen oder Bauwerken sind nicht direkt in der Master-Tabelle enthalten. Entsprechend den Ausführungen im Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90] können für die Berechnungen in Österreich die Maßnahmenkosten auf Basis der Baukennzahlen der ASFINAG [5] herangezogen werden. Daraus ergeben sich Einheitspreise für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten auf Preisbasis 2018 für die einzelnen Anlagenteile (siehe Tab. B.1 im Anhang dieser Arbeit).

Die Prognose des PMS berücksichtigt insgesamt 2326 Datensätze mit 4415,376 km aufgeteilt auf die 31 Straßenachsen des ASFINAG-Netzes (Autobahnen und Schnellstraßen). Aufgrund

der internen Datenqualitätskontrolle in der Datenbank werden 20 Abschnitte mit insgesamt 91,412 km von der Prognose ausgeschlossen. Dabei entfallen 90,816 km auf jene Abschnitte der *A05* und *S01*, die von der *Bonaventura Infrastruktur GmbH* betrieben werden. Die Aufteilung der vorhandenen Oberbaukilometer für die Prognose ist in Abb. 5.2 dargestellt. Die Analyse ergab, dass sich die Datenqualität für eine Berechnung nach Variante A mit Lebenszyklen aus dem Erhaltungsmanagementsystem eignet. Diese stellt die höchste Stufe der Genauigkeit dar, wodurch auch die anderen beiden Varianten grundsätzlich möglich wären. Da die Datenbank bereits ein eigenes Analyseset für die Berechnung mit Standardlebenszyklen aufweist, kann auch Variante C ohne zusätzliche Zuordnung der Lebenszyklen berechnet werden. Für die Implementierung des technischen Anlagenwerts sind jedoch noch Ergänzungen in beiden Analysesets der Datenbank vorzunehmen.



Abb. 5.2: Aufteilung der vorhandenen Datensätze des Straßenoberbaus gemäß Master-Tabelle

### 5.1.2 Vorhandene Eingangsgrößen im Bridge Management System (BMS)

Die Basis für die Berechnung des technischen Anlagenwerts von Brücken innerhalb des Straßennetzes der ASFINAG stellt die dTIMS-Datenbank IMT-Bridges dar (wurde im Jahr 2021 in die IMT2 übergeführt). Die Datenbank beinhaltet neben der Basistabelle *BB\_Bruecken* zur Verortung mit dem Bezugssystem eine Vielzahl an unterschiedlichen Tabellen für verschiedene Aufgabenbereiche – beispielsweise eine Tabelle *BZ\_Bauwerkspruefung* für die Daten der durchgeführten Bauwerksprüfungen und eine Tabelle *BK\_Bruecken\_gesamt*, welche die Konstruktionsdaten des Brückenobjekte enthält. Da die Ermittlung des technischen Anlagenwerts auf der bereits vorhandenen Lebenszyklusanalyse aufbauen soll, ist insbesondere die dafür erstellte Master-Tabelle *BA\_Eingangsdaten\_LCCA* von großer Bedeutung (siehe Abb. 5.3).

Im ersten Schritt erfolgt eine Datenanalyse der vorhandenen Eingangsgrößen in dieser Tabelle. Die anschließende Auflistung gibt zu den einzelnen Kategorien einen Überblick über die vorhandenen Daten im Sinne des technischen Anlagenwerts. Anschließend kann die etwaige Ergänzung von fehlenden Werten aus den weiteren Tabellen der Datenbank oder von Informationen und Quellen entsprechend den Vorgaben des *TAniA*-Endberichts [90] erfolgen. Die Analyse lieferte für die einzelnen Kategorien folgende Ergebnisse:

**Netz- und Referenzierungsdaten:** Grundsätzlich erfolgt die Verortung der Brückenbauwerke über die Referenzierung der Basistabelle *BB\_Bruecken*. Die wesentlichen Informationen für den örtlichen Zusammenhang und die Zuordnung zu Straßen- bzw. Netzabschnitten stellen folgende Attribute dar:

- *BB\_BAUT\_Objekt\_ID*,
- *BB\_Ebene*,
- *BB\_KM\_Bis*,
- *BB\_KM\_Station*,
- *BB\_KM\_Von*,
- *BB\_Laenge*,
- *BB\_Objektbezeichnung* sowie
- *BB\_Objektkurzbezeichnung*.

Diese wurden bereits für die Lebenszyklusanalyse in die Master-Tabelle übertragen.

**Aktueller Zustand:** Die Master-Tabelle beinhaltet die aktuellen Zustandsdaten für die einzelnen Bauteile der Brücken als Mittelwerte und Zustandsnoten sowie die Gesamtnote für das Bauwerk, welche zuvor aus den einzelnen Tabellen der Datenbank übertragen wurden. Für den technischen Anlagenwert und dessen Teilwerte sind insbesondere folgende Attribute von Bedeutung:

- *ZU\_Ausruestung\_Mittelwert*,
- *ZU\_Belag\_Mittelwert*,
- *ZU\_Entwaesserung\_Mittelwert*,
- *ZU\_FUEG\_Mittelwert*,
- *ZU\_Lager\_Mittelwert*,
- *ZU\_Randbalken\_Mittelwert*,
- *ZU\_Ueberbau\_Mittelwert*,
- *ZU\_Unterbau\_Mittelwert* sowie
- *ZU\_Gesamtnote\_Mittelwert*.

**Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung:** Die Ermittlung der zukünftigen Zustandsverläufe erfolgt im BMS auf Basis der bisherigen Zustandsentwicklungen und berücksichtigt abhängig vom gewählten Budget Scenario zunächst das Bauprogramm und anschließend die Optimierung gemäß dem vorgegebenen Budget.

**Inventardaten:** Die Inventardaten der wesentlichen konstruktiven Eigenschaften (z. B. Anlagenart, Bauweise, Material, Alter etc.) spielen für den technischen Anlagenwert an dieser Stelle eine untergeordnete Rolle, da sie bereits in den Zustandsprognosemodellen des BMS

RoadName	Name	ALT_Alter_aktuell	ALT_Baujahr	BB_BAUT_Objekt...	BB_Ebene	BB_KM_Bis	BB_KM_Station	BB_KM_Von	BB_Laenge	BB_Objektbezeich...	ALT_Bau
A000200BXX008870	A000200BXX008870_218	46	1974	702BIA86-8469-11D2...	1	0,994	0,994	0,994	107,09	56 RF CLOCCNITZ B...	
A000200BXX008890	A000200BXX008890_218	56	1964	94889F10-7719-11D2...	0	0,785	0,785	0,785	135,00	Brücke über Sterng...	
A000200BXX008900	A000200BXX008900_218	56	1964	94889F10-7719-11D2-9...	0	0,816	0,816	0,816	82,80	E5 5 Brücke über die...	
A000200BXX008910	A000200BXX008910_218	48	1972	035FCFA-595C-11D3...	1	2,194	2,196	2,177	145,50	ÜBF-GSTBAHN	
A000200BXX008940	A000200BXX008940_219	54	1966	16D4CDD0-7718-11D2...	0	3,894	3,892	3,890	3,00	PETERSBACH BEI V...	
A000200BXX008950	A000200BXX008950_219	16	2004	A3FA6D47-3C9D-49...	1	4,025	4,025	4,025	50,64	Brücken des Kollekt...	
A000200BXX008990	A000200BXX008990_218	33	1987	16D4CE9C-7718-11D2...	0	6,677	6,674	6,670	5,30	KROTTENBACH BEI ...	
A000200BXX009000	A000200BXX009000_218	33	1987	16D4CE9D-7718-11D2...	0	6,644	6,644	6,644	8,82	KROTTENBACH BEI ...	
A000200BXX009010	A000200BXX009010_218	31	1989	16D4CEA2-7718-11D2...	0	6,808	6,808	6,808	9,15	KROTTENBACH (RA...	
A000200BXX009020	A000200BXX009020_219	31	1989	16D4CE2A-7718-11D2...	0	6,527	6,527	6,527	54,42	RAMPE 100 UND KR...	
A000200BXX009030	A000200BXX009030_218	60	1960	16D4C958-7718-11D2...	1	7,515	7,512	7,508	64,95	FELDWEG (GEMEIN...	
A000200BXX009040	A000200BXX009040_219	63	1957	9488A4DF-7718-11D2...	1	8,480	8,474	8,469	76,96	A2 BEI BIEDERMAN...	
A000200BXX009100	A000200BXX009100_219	59	1961	16D4C958-7718-11D2...	1	8,875	8,870	8,864	68,32	A2 BEI BIEDERMAN...	
A000200BXX009110	A000200BXX009110_501	6	2014	63A3DA93-2BF2-41F...	0	8,834	8,834	8,834	18,70	Brücke über neue R...	
A000200BXX009120	A000200BXX009120_219	59	1961	702BIAA3-8469-11D2...	1	8,864	8,859	8,853	68,32	A2 BEI BIEDERMAN...	
A000200BXX009130	A000200BXX009130_219	59	1961	9488AA46-7718-11D2...	1	9,232	9,226	9,219	89,46	A2 BEI BIEDERMAN...	
A000200BXX009160	A000200BXX009160_219	59	1961	16D4C95A-7718-11D2...	1	11,115	11,110	11,105	114,94	ASPANGBAHN U. FE...	

Abb. 5.3: Ausschnitt aus der Master-Tabelle *BA\_Eingangsdaten\_LCCA* für Lebenszyklusanalysen von Brücken

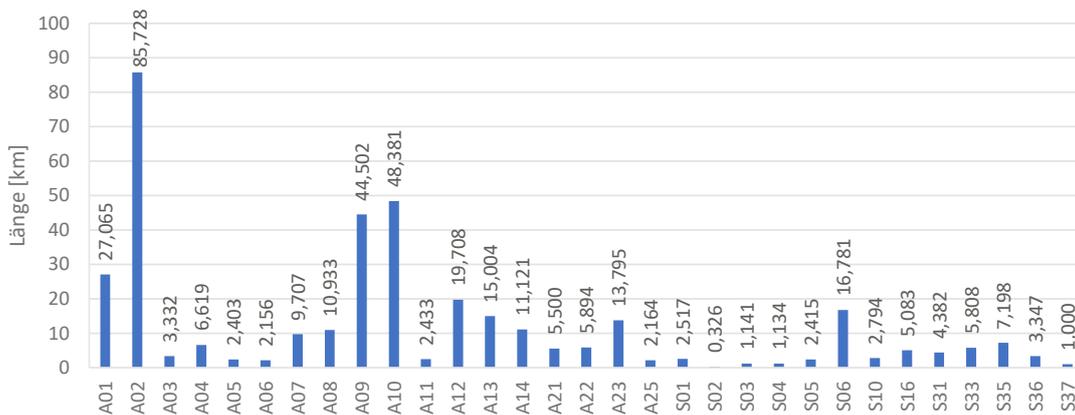
berücksichtigt wurden. Für die Implementierung des technischen Anlagenwerts sind daher nur die Informationen zum Ausmaß des Objekts bzw. Bauteils (z. B. Länge, Dicke, Fläche, Stückzahl etc.) erforderlich. In der Master-Tabelle der IMT-Datenbank finden sich hierfür Inventardaten entsprechend den Vorgaben der *RVS 13.04.11* [73] wie folgt:

- *INV\_Breite* in [m],
- *INV\_Flaeche* in [m<sup>2</sup>],
- *INV\_FUEG\_Laenge* in [m],
- *INV\_Lager\_Anzahl* in [Stk] sowie
- *INV\_Ueberbau\_Gesamtlaege* in [m].

**Beanspruchungen:** Diese werden für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts nicht gesondert benötigt, da die standortspezifischen Beanspruchungen bereits über die Prognose der Zustandsentwicklung im BMS berücksichtigt sind.

**Kosten:** Die Kostenkennwerte für die Erneuerung von Anlagenteilen oder Bauwerken sind nicht direkt in der Master-Tabelle der IMT-Bridges enthalten. Entsprechend den Ausführungen im Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90] können für die Berechnungen in Österreich die Maßnahmenkosten auf Basis der Baukennzahlen der ASFINAG [5] herangezogen werden. Daraus ergeben sich Einheitspreise für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten auf Preisbasis 2018 für die einzelnen Anlagenteile, die in Tab. B.2 zusammengefasst sind.

Die Zustandsprognose des BMS berücksichtigt insgesamt 5650 Bauwerke mit einer Gesamtlänge von 370,372 km. Die Aufteilung dieser Brückenkilometer auf die 31 Straßenachsen des ASFINAG-Netzes (Autobahnen und Schnellstraßen) ist in Abb. 5.4 zusammengefasst. Aus der Analyse der bestehenden Master-Tabelle hinsichtlich der Eingangsgrößen für den technischen Anlagenwert geht hervor, dass sich die Datenqualität für eine Berechnung nach Variante A mit Lebenszyklen aus dem Erhaltungsmanagementsystem eignet. Diese stellt die höchste Stufe der Genauigkeit dar, wodurch auch die anderen beiden Varianten grundsätzlich möglich wären. Für die Implementierung des technischen Anlagenwerts sind jedoch noch Ergänzungen in der Datenbank vorzunehmen.



**Abb. 5.4:** Aufteilung der vorhandenen Datensätze der Brücken gemäß Master-Tabelle

### 5.1.3 Vorhandene Eingangsgrößen im Tunnel Management System (TMS)

Als Grundlage für die Berechnung des technischen Anlagenwerts von Tunneln im ASFINAG-Netz wird die dTIMS-Datenbank des Forschungsprojekts *OPTimAL* [82] herangezogen. Diese wird derzeit noch nicht standardmäßig in der Erhaltungsplanung der ASFINAG verwendet, stellt allerdings das einzige verfügbare TMS dar. Bisher wurden für die Planung von Erhaltungsmaßnahmen

der baulichen Tunnelbestandteile die BAUT-Datenbank verwendet. Für die elektrotechnische und maschinelle Tunnelausrüstung kamen Excel-Tabellen mit den aktuellen Zustandswerten zur Anwendung. Die Datenbank des *OPTimal*-Projekts beinhaltet neben der Basistabelle *T\_Tunnel* zur Verortung mit dem Bezugssystem zusätzliche Tabellen für unterschiedliche Aufgabenbereiche. Beispielsweise werden in der Tabelle *TB\_Zustand* die Zustandsdaten der baulichen Anlagenteile und in der Tabelle *TEM\_Zustand* jene der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung gespeichert. Da die Ermittlung des technischen Anlagenwerts auf der bereits vorgesehenen Lebenszyklusanalyse aufbauen soll, ist insbesondere die dafür erstellte Master-Tabelle *T\_Analyse* von großer Bedeutung (siehe Abb. 5.5).

RoadName	Name	Alter	Baujahr	Bauweise	Bis_KM	Breite	Bundesland	Gefährdungskla.	INT_Boolean
A01_L_291865_0001	A01_L_291865_0001	19	2001	OBW	292,368	0,000	S		
A01_R_291865_0002	A01_R_291865_0002	19	2001	OBW	292,368	0,000	S	III	
A02_L_205075_0003	A02_L_205075_0003	38	1982	CBW	205,327	0,000	St		
A02_L_220965_0004	A02_L_220965_0004	38	1982	CBW	222,975	0,000	St	II	
A02_L_226526_0005	A02_L_226526_0005	38	1982	CBW-	227,675	0,000	St	II	
A02_L_228959_0006	A02_L_228959_0006	38	1982	CBW	230,973	0,000	St	II	
A02_L_238498_0007	A02_L_238498_0007	39	1981		238,914	0,000	K		
A02_L_24053_0008	A02_L_24053_0008	39	1981		240,900	0,000	K		
A02_L_244332_0009	A02_L_244332_0009	34	1986	CBW	246,480	0,000	K	III	
A02_L_265771_0010	A02_L_265771_0010	32	1988	CBW	266,657	0,000	K	III	
A02_L_269484_0011	A02_L_269484_0011	31	1989	CBW	269,894	0,000	K		
A02_L_27164_0012	A02_L_27164_0012	31	1989	CBW	272,290	0,000	K	III	
A02_L_291867_0013	A02_L_291867_0013	21	1999	OBW	292,467	0,000	K	II	
A02_L_294384_0014	A02_L_294384_0014	21	1999	OBW	294,734	0,000	K		
A02_L_30025_0015	A02_L_30025_0015	21	1999	OBW	300,705	0,000	K		
A02_L_302218_0016	A02_L_302218_0016	22	1998	OBW	302,520	0,000	K		
A02_L_303754_0017	A02_L_303754_0017	21	1999	OBW	303,990	0,000	K		
A02_L_30417_0018	A02_L_30417_0018	21	1999	OBW	304,315	0,000	K		
A02_L_317182_0019	A02_L_317182_0019	27	1993	CBW	320,527	0,000	K	III	
A02_L_321562_0020	A02_L_321562_0020	25	1995	OBW	322,362	0,000	K	II	
A01_I_212461_0071	A01_I_212461_0071	36	1962	FBW	212,198	0,000	K		

**Abb. 5.5:** Ausschnitt aus der Master-Tabelle *T\_Analyse* für Lebenszyklusanalysen von Tunnel gemäß Forschungsprojekt *OPTimal*

Die Analyse der vorhandenen Eingangsgrößen bildet die Basis für die Implementierung der einzelnen Berechnungen und Variablen. Einen Überblick über die vorhandenen Daten in den einzelnen Kategorien im Sinne des technischen Anlagenwerts gibt die anschließende Auflistung. Im Anschluss kann die etwaige Ergänzung von fehlenden Werten aus den weiteren Tabellen der Datenbank oder von Informationen und Quellen entsprechend den Vorgaben des *TAniA*-Endberichts [90] erfolgen. Die Analyse lieferte für die einzelnen Kategorien folgende Ergebnisse:

**Netz- und Referenzierungsdaten:** Grundsätzlich erfolgt die Verortung der Tunnel über die Referenzierung der Basistabelle *T\_Tunnel*. Die wesentlichen Informationen für den örtlichen Zusammenhang und die Zuordnung zu Straßen- bzw. Netzabschnitten stellen folgende Attribute dar:

- *RoadName*,
- *Tunnel-ID*,
- *From*,
- *To*,
- *Length*,
- *Bis\_KM*,
- *VON\_KM* sowie
- *Strecke*.

**Aktueller Zustand:** Die Master-Tabelle beinhaltet die aktuellen Zustandsdaten für die einzelnen konstruktiven Bauteile als Zustandsnoten und Gesamtnote für die Konstruktion. Zusätzlich sind für die Gewerke der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung die Teilnoten des technischen Anlagen-Istzustands ( $TAZ_i$ ), der Ersatzteilverfügbarkeit ( $EV_i$ ) und des Alters ( $ALT_i$ ) sowie der Gesamtwert enthalten. Für den technischen Anlagenwert bzw. die Ausrüstungsindikatoren sind jedoch ausschließlich die Attribute des technischen Anlagen-Istzustands der 42 Standardgewerke zu berücksichtigen. Dies ist darauf begründet, dass einerseits die prognostizierte Entwicklung dieses Werts bereits die durchschnittlichen Nutzungsdauern und somit das Alter berücksichtigt und andererseits die Ersatzteilverfügbarkeit keinen Rückschluss auf den technischen Zustand der Anlagenteile zulässt.

**Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung:** Die Ermittlung der prognostizierten Zustandsverläufe des technischen Anlagen-Istzustands erfolgt im TMS des Forschungsprojekts *OPTimal* [82] für die elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstungsbestandteile mittels linearer Funktionen auf Basis der durchschnittlichen Nutzungsdauern. Für die Prognose der konstruktiven Anlagenteile wurde bereits im Zuge des *OPTimal*-Projekts Degradationskurven mittels Random-Forrest-Analyse und Markov-Ketten in der Datenbank implementiert. Bei beiden Zustandsentwicklungen werden derzeit weder Bauprogramme noch vorgegebene Budgets berücksichtigt.

**Inventardaten:** Die Inventardaten der wesentlichen konstruktiven Eigenschaften (z. B. Anlagenart, Bauweise, Material, Alter etc.) spielen für den technischen Anlagenwert an dieser Stelle nur eine untergeordnete Rolle, da sie bereits in den Zustandsprognosemodellen berücksichtigt wurden. Wesentlich wichtiger sind die Informationen über die Geometrien und Ausmaße des Bauwerks. Zudem beziehen sich die Kostenkennwerte für alle Anlagenteile und Gewerke auf die Länge des Tunnels, wodurch folgende Attribute der Master-Tabelle entsprechend den Vorgaben der *RVS 13.04.21* [74], *RVS 13.04.22* [75] und *RVS 13.04.23* [76] benötigt werden:

- *Bauweise* mit Auswahl *OBW*, *GBW* oder *GBW+*,
- *Length* in [m] sowie
- *Breite* in [m].

**Beanspruchungen:** Diese werden für die Ermittlung des technischen Anlagenwerts nicht gesondert betrachtet, da diese bereits über die Prognose der Zustandsentwicklung im TMS bzw. bei der Zuordnung der Standardnutzungsintervalle Berücksichtigung finden.

**Kosten:** Die Kostenkennwerte für die Erneuerung von Anlagenteilen oder Bauwerken sind nicht direkt in der Master-Tabelle enthalten. Entsprechend den Ausführungen im Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90] können für die Berechnungen in Österreich die Maßnahmenkosten auf Basis der Baukennzahlen der ASFINAG [5] bzw. die Ergebnisse des Forschungsprojekts *OPTimal* [82] herangezogen werden. Daraus ergeben sich Einheitspreise [€/m Tunnelröhre] für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten auf Preisbasis 2018 für die einzelnen Anlagenteile wie in Tab. B.3 ersichtlich.

Für die Zustandsprognose mittels TMS werden 275 Datensätze mit einer Gesamtlänge von 343,337 km herangezogen. Die enthaltenen Tunnel befinden sich auf 22 Straßenachsen des ASFINAG-Netzes deren Zuteilung anhand der vorhandenen Tunnelkilometer in Abb. 5.6 ersichtlich ist. Die Datenqualität der zur Verfügung gestellten Datenbank aus dem *OPTimal*-Projekt eignet sich hinsichtlich der Eingangsgrößen für den technischen Anlagenwert grundsätzlich für eine Berechnung nach Variante A mit Lebenszyklen aus dem Erhaltungsmanagementsystem. Bei

genauerer Betrachtung der Datenbank ist allerdings zu erkennen, dass die Zustandsprognose teilweise auf Standardlebenszyklen bzw. durchschnittlichen Nutzungsdauern aufgebaut ist und keine Optimierung auf Basis vorgegebener Budgets enthält. Demnach erfolgt die Berechnung des technischen Anlagenwerts für die Tunnel nach Variante C mit Standardlebenszyklen. Für die Implementierung des technischen Anlagenwerts sind noch Ergänzungen im Analyseset der Datenbank vorzunehmen.

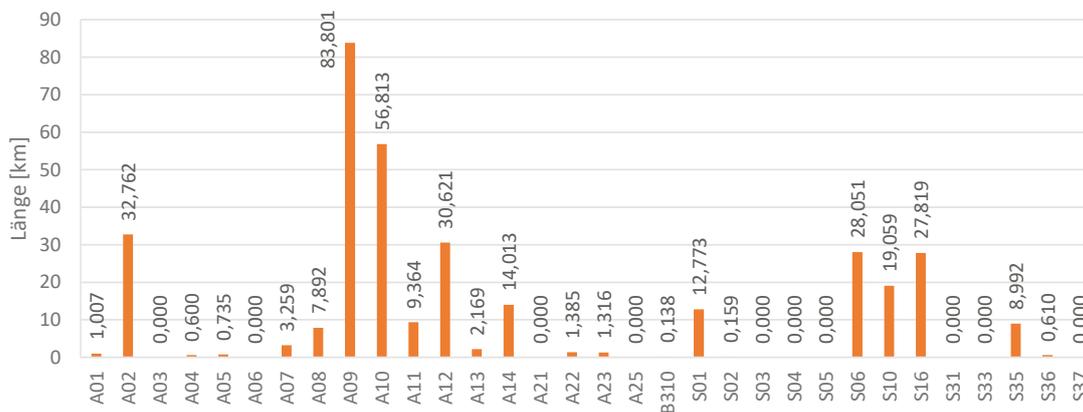


Abb. 5.6: Aufteilung der vorhandenen Datensätze der Tunnel gemäß Master-Tabelle

## 5.2 Ergänzungen in der Datenbank

Die bisherige Lebenszyklusanalyse unter Berücksichtigung des jeweiligen Bauprogramms und des vorgegebenen Budgets erfolgt bereits mittels der bestehenden Datenbanken. Aufbauend auf den dafür erforderlichen Informationen können die Berechnungen der Ausrüstungs- und Konstruktionsindikatoren sowie des technischen Anlagenwerts integriert werden. Hierfür sind allerdings Ergänzungen bei den Attributen der Master-Tabellen, den **Analysis Expressions**, den **Analysis Variables** und den jeweiligen Analyse Sets erforderlich. In den anschließenden Abschnitten werden diese näher erläutert und auf Besonderheiten in den unterschiedlichen Datenmanagementsystemen eingegangen.

### 5.2.1 Einfügen zusätzlicher Attribute

Im ersten Schritt ist das Einfügen der notwendigen Attribute in den Master-Tabellen nötig. Diese werden gebraucht, um den Zielort für die berechneten Variablen definieren zu können. Tab. 5.1 gibt einen Überblick über die eingefügten Attribute im TMS und deren wichtigste Eigenschaften, da diese aufgrund der Aufteilung von Ausrüstung und Konstruktion die meisten Teilwerte erfordert. Die Attribute sind jeweils in den drei Master-Tabellen des PMS, BMS und TMS unter Berücksichtigung der Notwendigkeit der entsprechenden Anzahl an Ausrüstungsindikatoren hinzuzufügen. Anschließend erfolgt der Einbau die Berechnungsschritte des technischen Anlagenwerts in der Datenbank.

### 5.2.2 Implementierung der erforderlichen Analysis Expressions und Analysis Variables

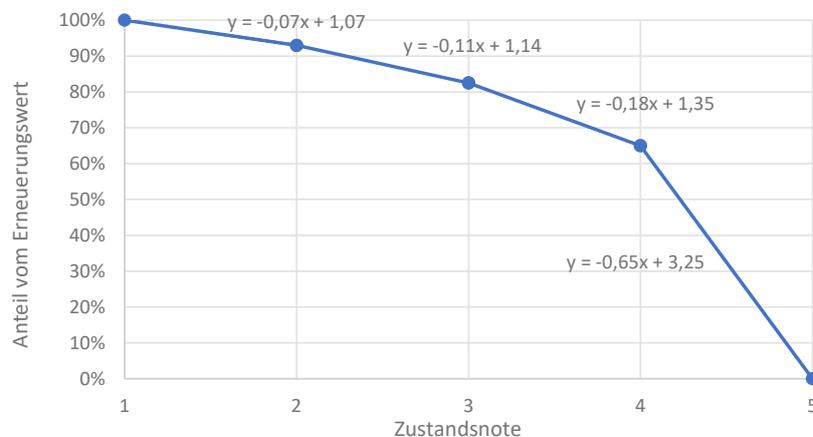
Im nächsten Schritt ist die Implementierung der erforderlichen **Analysis Expressions** und **Analysis Variables** vorzunehmen. Dies stellt einen iterativen Prozess dar, da sich einige

**Tab. 5.1:** Ergänzende Attribute in der Master-Tabelle des TMS

Attributname	Beschreibung	Attributtyp	Format
<i>TAW_AI_1</i>	TAW Ausrüstung 1 in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_AI_1_Index</i>	Ausrüstungsindikator 1 Index (0–100)	Decimal	0,0
<i>TAW_AI_2</i>	TAW Ausrüstung 2 in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_AI_2_Index</i>	Ausrüstungsindikator 2 Index (0–100)	Decimal	0,0
<i>TAW_AI_3</i>	TAW Ausrüstung 3 in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_AI_3_Index</i>	Ausrüstungsindikator 3 Index (0–100)	Decimal	0,0
<i>TAW_KI</i>	TAW Konstruktion in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_KI_Index</i>	Konstruktionsindikator Index (0–100)	Decimal	0,0
<i>TAW_Gesamt</i>	TAW gesamt in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_Index_Gesamt</i>	TAW Index gesamt (0–100)	Decimal	0,0

**Analysis Expressions** auf **Analysis Variables** beziehen und umgekehrt. Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass zunächst die sogenannten „INPUT“-Werte zu berechnen sind. Diese nutzen in der Berechnung Eingangswerte aus der Master-Tabelle oder Fixwerte und bilden die Basis für weitere Berechnungen.

Mit Hilfe der vorhandenen Kostenkennwerte für den Einheitspreis der Erneuerungskosten je Anlagenteil können die allgemeinen Zusammenhänge aus Abschnitt 3.4.3 dieser Arbeit an die länderspezifischen Preise angepasst werden. Hierfür sind der Einheitspreis zur Erneuerung des betreffenden Anlagenteils mit den dazugehörigen Funktionen der abschnittsweise linearen Verläufe des technischen Anlagenwerts zu multiplizieren. Abb. 5.7 zeigt beispielhaft die Geradengleichungen der einzelnen Abschnitte für den Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für den Unterbau von Brücken. Diese Verläufe werden in Abhängigkeit von der Zustandsnote über WENN-Funktionen (IF-Funktionen) verschachtelt und zum Konstruktions- bzw. Ausrüstungsindikator zusammengefasst. Für die Implementierung der Berechnung wird diese mittels **Analysis Expression** eingefügt (siehe Abb. 5.8). Dabei beziehen sich die „INPUT“-Berechnungen auf die aktuellen Zustandswerte, die in den Attributen (z. B. *ZU\_Ueberbau\_Mittelwert* und *ZU\_Unterbau\_Mittelwert*) der Master-Tabelle enthalten sind. Eine gesamtheitliche Aufstellung der benötigten **Analysis Expressions** für die Brückendatenbank

**Abb. 5.7:** Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert – Unterbau

```

1 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert=0.0,0.0,IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert<=1.0,156.0,
2 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert<2.0,-28.8*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert+184.08,
3 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert<3.0,-35.88*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert+199.68,
4 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert<4.0,-62.4*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert+279.24,
5 -29.64*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Ueberbau_Mittelwert+148.2)))))*BA_Eingangsdaten_LCCA->INV_Flaeche/1000000.0+
6 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert=0.0,0.0,IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert<=1.0,156.0,
7 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert<2.0,-10.93*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert+166.93,
8 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert<3.0,-16.39*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert+177.85,
9 IF(BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert<4.0,-27.32*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert+210.64,
10 -101.36*BA_Eingangsdaten_LCCA->ZU_Unterbau_Mittelwert+506.81)))))*BA_Eingangsdaten_LCCA->INW_Flaeche/1000000.0

```

**Abb. 5.8:** Berechnung der Analysis Expression *B\_aN\_INPUT\_TAW\_KI* in IMT-Bridges

ist in Tab. 5.2 zu finden. Im Sinne der Vollständigkeit sind die Berechnungen aller **Analysis Expressions** in Anhang B dieser Arbeit enthalten.

Zur Ermittlung von Prognosekurven der einzelnen Teilwerte ist in weiterer Folge die dazugehörige Analysevariable zu definieren. Sie fasst die zuvor definierten Berechnungsmodelle für den Anfangswert und den weiteren Verlauf zusammen. Hierbei ist zunächst die Art der Analysevariable (siehe Abschnitt 4.3.2) zu wählen. Für die Berechnung des technischen Anlagenwerts und der dazugehörigen Teilwerte werden ausschließlich jährliche Analysevariablen und Summationsvariablen benötigt. Bei der Definition der Variablen sind in weiterer Folge das Zielattribut in der Master-Tabelle, der Startwert über die „INPUT“-Expression und die **Analysis Expression** für die weitere Berechnung zu wählen. Tab. 5.3 fasst die benötigten Variablen und deren wesentliche Eigenschaften für die Datenbank IMT-Bridges zusammen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass es sich bei der Berechnung der Prognosewerte für den Erneuerungswert sowie den technischen Anlagenwert und seiner Teilwerte um Realwertrechnungen handelt und keine Diskontierung stattfindet. Die Barwertmethode findet ausschließlich bei der Ermittlung des Gesamtwirkungsindex und der Indexfläche Anwendung, da diese eine Summation von Werten zu unterschiedlichen Zeitpunkten darstellen. Als Abzinsungsfaktor kommt hierbei der bereits in der Datenbank enthaltene Faktor  $q = 2,5\%$  zur Anwendung. Dieser wird von dTIMS bereits bei der Optimierung der Zustandsprognose mittels Kosten-Nutzen-Analyse berücksichtigt.

**Tab. 5.2:** Ergänzende Analysis Expressions in der dTIMS-Datenbank IMT-Bridges

INPUT-Expressions	laufende Expressions
<i>B_aN_INPUT_Analysejahr</i>	<i>B_JAV_aN_Analysejahr</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_1</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_1</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_1_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_1_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_2</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_2</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_2_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_2_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_KI</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_KI</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_KI_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_KI_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Erneuerungswert</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Erneuerungswert</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Gesamt</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Gesamt</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Gesamtindex</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_vorhJahr</i>	—
—	<i>B_JAV_aN_TAW_Wirkungsindex</i>
—	<i>B_KAV_aN_TAW_Indexflaeche</i>
—	<i>B_KAV_aN_TAW_Gesamtwirkungsindex</i>

**Tab. 5.3:** Ergänzende Analysis Variables in der dTIMS-Datenbank IMT-Bridges

Analysis Variable	Typ	Initialisierung	laufende Expressions
B_JAV_Analysejahr	Annual	B_aN_INPUT_Analysejahr	B_JAV_aN_Analysejahr
B_JAV_TAW_AI_1	Annual	B_aN_INPUT_TAW_AI_1	B_JAV_aN_TAW_AI_1
B_JAV_TAW_AI_1_Index	Annual	B_aN_INPUT_TAW_AI_1_Index	B_JAV_aN_TAW_AI_1_Index
B_JAV_TAW_AI_2	Annual	B_aN_INPUT_TAW_AI_2	B_JAV_aN_TAW_AI_2
B_JAV_TAW_AI_2_Index	Annual	B_aN_INPUT_TAW_AI_2_Index	B_JAV_aN_TAW_AI_2_Index
B_JAV_TAW_KI	Annual	B_aN_INPUT_TAW_KI	B_JAV_aN_TAW_KI
B_JAV_TAW_KI_Index	Annual	B_aN_INPUT_TAW_KI_Index	B_JAV_aN_TAW_KI_Index
B_JAV_TAW_Index_Erneuerungswert	Annual	B_aN_INPUT_TAW_Erneuerungswert	B_JAV_aN_TAW_Erneuerungswert
B_JAV_TAW_Gesamt	Annual	B_aN_INPUT_TAW_Gesamt	B_JAV_aN_TAW_Gesamt
B_JAV_TAW_Index_Gesamt	Annual	B_aN_INPUT_TAW_Gesamtindex	B_JAV_aN_TAW_Index
B_JAV_TAW_Wirkungsindex	Annual	B_Eingangsgangdaten_LCCA->INT_KostenNutzen	B_JAV_aN_TAW_Wirkungsindex
B_KAV_TAW_Gesamtwirkungsindex	Compilation	—	B_KAV_aN_TAW_Gesamtwirkungsindex
B_KAV_TAW_Indexflaeche	Compilation	—	B_KAV_aN_TAW_Indexflaeche

### 5.2.3 Ergänzung des Analyse Sets um die erforderlichen Analysis Variables

Abschließend ist die Integration der Analysevariablen im Analyseset der Lebenszyklusanalyse erforderlich. Dabei ist besonders auf die Reihenfolge der Variablen zu achten, da diese von dTIMS bei der jährlichen Berechnung berücksichtigt wird. Aus diesem Grund sind die Analysevariablen des technischen Anlagenwerts im Anschluss an die Variablen der Lebenszyklusbetrachtungen angeschlossen. Grundsätzlich sind bei der Integration zunächst die monetären Teilwerte (Konstruktions- und Ausrüstungsindikator) und der Erneuerungswert zu berechnen. Anschließend können die normierten Indikatoren und der technische Anlagenwert – monetär und normiert – gebildet werden. Gesamtheitliche Werte zur weiteren Interpretation der Ergebnisse, wie beispielsweise der Wirkungsindex und die Indexfläche, werden am Ende ermittelt. Beispielhaft sind im bereits vorhandenen *Analysis Set B\_LCCA\_Analyseset* der Brückendatenbank die Variablen

- *B\_JAV\_Analysejahr*,
- *B\_JAV\_TAW\_AI\_1*,
- *B\_JAV\_TAW\_AI\_1\_Index*,
- *B\_JAV\_TAW\_AI\_2*,
- *B\_JAV\_TAW\_AI\_2\_Index*,
- *B\_JAV\_TAW\_KI*,
- *B\_JAV\_TAW\_KI\_Index*,
- *B\_JAV\_TAW\_Erneuerungswert*,
- *B\_JAV\_TAW\_Gesamt*,
- *B\_JAV\_TAW\_Index\_Gesamt*,
- *B\_JAV\_TAW\_Wirkungsindex*,
- *B\_KAV\_TAW\_Gesamtwirkungsindex* sowie
- *B\_KAV\_TAW\_Indexflaeche*

hinzuzufügen. Nach der erfolgten Integration im Analyseset ist dieses durch die Schaltfläche **Execute** auszuführen. Die erhaltenen Ergebnisse können nach erfolgter Analyse automatisch in den erzeugten **Dataviews** begutachtet und überprüft sowie über angelegte **Export Strategies** je **Budget Scenario** als Datenbankdatei (.mdb-Datei) heruntergeladen werden. Für die Zusammenführung der technischen Anlagenwerte aus den unterschiedlichen Datenbanken erfolgt die Übertragung der Ergebnisse in Excel-Tabellen.

## 5.3 Zusammenführung der Ergebnisse

Die Zusammenführung der Ergebnisse aus den einzelnen Datenbanken der ASFINAG zur Bewertung des Gesamtnetzes erfolgt über Excel-Tabellen. Dabei spielt im ersten Schritt die Auswahl des zu betrachtenden Budget Szenarios eine wesentliche Rolle, da diese die Zustandsprognosen und Erhaltungsmaßnahmen wesentlich beeinflussen. Für den Straßenoberbau stehen im vorhandenen PMS neben der Variante mit unlimitierten Budgetmitteln insgesamt sechs weitere Budgetvarianten mit Berücksichtigung des bereits geplanten Bauprogramms ab 2022 in den ersten sechs

Jahren zur Verfügung. Dabei stellt das **Budget Scenario** mit einer geplanten Investitionssumme von 140 Mio. € das Standardszenario für die Zustandsprognose des Straßenoberbaus dar, welches von 100 % zielgerichteten Investitionen ohne Bündelungseffekten ausgeht. Die Brückendatenbank beinhaltet für die Prognose der Zustände und den damit verbundenen technischen Anlagenwert neben einem Szenario ohne Budget und einem mit unlimitiertem Budget sieben weitere Budgetvarianten. Dabei berücksichtigen drei **Budget Scenarios** nur im ersten Jahr und vier in den ersten sieben Jahren das geplante Bauprogramm ab 2020. Das Standardszenario stellt dabei die Budgetvariante mit 7 Jahren Bauprogramm und anschließender jährlicher Investitionssumme von 150 Mio. € (100 % zielgerichteter Mitteleinsatz ohne Bündelungseffekte) dar. Die Datenbank für Tunnel auf Basis des *OPTimAL*-Projekts berechnet die Zustandsprognosen mittels Standardlebenszyklen und berücksichtigt daher keine vordefinierten Budgetvarianten, sondern kalkuliert mit einem unlimitierten Investitionsbudget. Die Zusammenführung der technischen Anlagenwerte je Anlagentyp erfolgt in weiterer Folge auf Grundlage der Standardszenarien.

Im nächsten Schritt sind die Summen der technischen Anlagenwerte und Erneuerungswerte im Sinne des *TAniA*-Projekts für Oberbau, Brücken und Tunnel getrennt voneinander zu berechnen. Die daraus erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 5.4 zusammengefasst. Durch Addition der Werte je Anlagentyp errechnet sich schlussendlich der monetäre technische Anlagewert für die betrachteten Objekte des Gesamtnetzes der ASFINAG. Dieses wird durch die Division durch den Gesamterneuerungswert in den normierten technischen Anlagenwert umgerechnet. Abb. 5.9 zeigt anhand der Balken je Analysejahr die einzelnen Anteile der Anlagentypen am gesamten monetären technischen Anlagenwert des ASFINAG-Netzes. Anhand der Tabelle und des Diagramms ist zu erkennen, dass der Straßenoberbau wertmäßig den größten Anteil am technischen Anlagenwert und Erneuerungswert besitzt. Vergleicht man den Anteil der Brücken am Gesamterneuerungswert mit jenem des Oberbaus, ist zu sehen, dass diese fast gleich hoch sind. Allerdings ist der technische Anlagenwert der Brückenanlagen niedriger, was darauf schließen lässt, dass der Straßenoberbau durchschnittlich in einem etwas besseren Zustand ist als die Brücken. Die Tunnel besitzen nur einen geringen Anteil am Gesamterneuerungswert, wodurch sich der durchschnittliche Zustand im normierten technischen Anlagenwert weniger stark widerspiegelt. Zusätzlich zum monetären technischen Anlagenwert je Anlagentyp ist mittels Liniendiagramm der normierte technische Anlagenwert für das Gesamtnetz abgebildet. Dieser zeigt einen relativ gleichbleibend hohen technischen Anlagenwert für das gesamte ASFINAG-Netz über die Betrachtungsperiode.

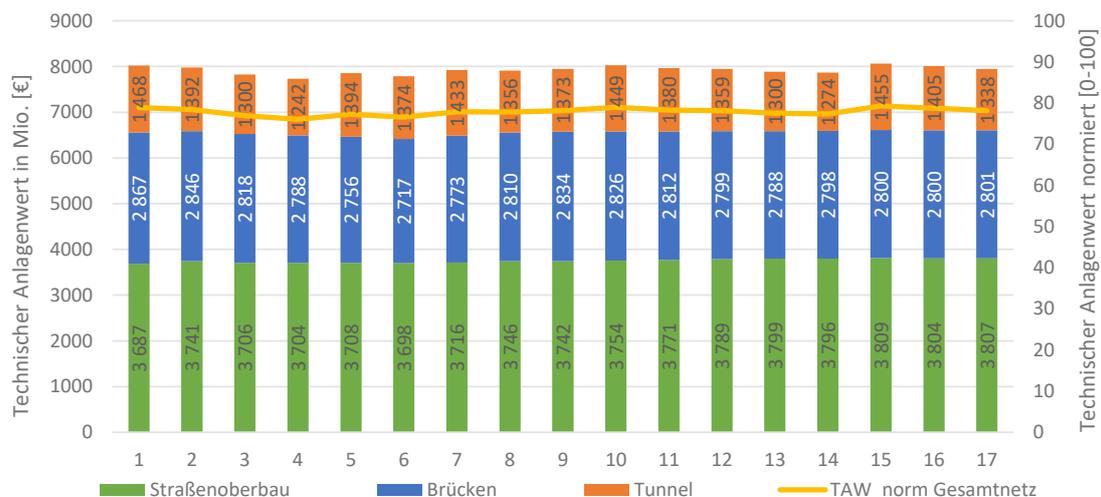


Abb. 5.9: Technischer Anlagenwert normiert und monetär je Anlagentyp für das Gesamtnetz

**Tab. 5.4:** Technischer Anlagenwert ( $TAW_t$  [€]) und Erneuerungswert ( $EW_{t_A}$  [€]) je Anlagentyp für das Gesamtnetz in Mio.

Anlagentyp	$EW_{t_A}$	Analysejahr							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Oberbau	4260	3688	3741	3706	3704	3708	3698	3716	3746
Brücken	3932	2867	2846	2818	2788	2756	2717	2773	2810
Tunnel	1976	1468	1392	1300	1242	1394	1374	1433	1356
$\Sigma$	10 168	8023	7979	7824	7734	7858	7789	7921	7912

Anlagentyp	Analysejahr								
	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Oberbau	3742	3754	3771	3789	3799	3796	3809	3804	3807
Brücken	2834	2826	2812	2799	2788	2798	2800	2800	2801
Tunnel	1373	1449	1380	1359	1300	1274	1455	1405	1338
$\Sigma$	7950	8029	7964	7948	7888	7868	8064	8009	7945

Anhand der Ergebnisse ist erkennbar, dass die Zusammenführung von verschiedenen Anlagenarten mit unterschiedlichen Zustandserfassungen sowie Prognosegenauigkeiten auf Basis eines monetären technischen Anlagenwerts möglich ist. Mit Hilfe der Normierung über den Erneuerungswert der Anlagen, also dem maximal möglichen technischen Anlagenwert, kann eine Einschätzung des gesamtheitlichen Netzzustands erfolgen. Dies kann zum Vergleich der einzelnen Anlagenarten oder mit anderen Netzbetreibern herangezogen werden. Weitere Analysen der erhaltenen Ergebnisse und die damit gebotenen Möglichkeiten sind Kapitel 6 dieser Arbeit zu entnehmen.

## 5.4 Exkurs: Gegenüberstellung Erneuerungswert des technischen Anlagenwert zu Erneuerungskosten

Zur besseren Unterscheidung des berechneten Erneuerungswerts im Sinne des Forschungsprojekts *TAniA* für die technische Anlagenbewertung der Straßeninfrastruktur wird in diesem Abschnitt eine Gegenüberstellung mit den Kosten für eine Erneuerung (Neubau) aufgezeigt. Entsprechend dem Endbericht des Forschungsprojekts *TAniA* [90, S. 35] entspricht der Erneuerungswert zur Berechnung des Technischen Anlagenwert „*dem theoretischen monetären Wert, der zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgewendet werden muss, um eine Anlage nach dem aktuellen Stand der Technik (technischen Anforderungen), jedoch ohne Berücksichtigung von erhöhten aktuellen funktionalen Anforderungen zu errichten*“ (siehe Abschnitt 3.1). Dabei wird berücksichtigt, dass bereits bestehende konstruktive Bauteile nach Möglichkeit weiterverwendet werden können. Dies betrifft zum Beispiel die bereits ausgebrochene Tunnelröhre, bestehende Pfeilerfundamente und die Straßenbefestigung des Straßenoberbaus. Des Weiteren berücksichtigt der Erneuerungswert im Sinne der technischen Anlagenbewertung keine Kosten für die Verkehrsführung während den erforderlichen Bauarbeiten, Grundeinlöse, Planung, Projektmanagement etc.

Die Zusammenführung der ausgewerteten Datenbanken der ASFINAG für den Straßenoberbau, Brücken und Tunnel (bauliche sowie elektrotechnische und maschinelle Anlagenteile) ergibt einen Erneuerungswert in Sinne des Forschungsprojekts *TAniA* von rd. 10 168 Mio. € (siehe Tab. 5.4). Dieser Wert repräsentiert nicht das gesamte Portfolio der Straßenerhaltung, sonder lediglich die

angeführten Bauwerke. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass Lärmschutzwände, Überkopfkonstruktionen, Stützbauwerke, Schutzbauten und Hochbauten gemäß Netzzustandsbericht 2020 [37] mengenmäßig einen großen Anteil der betreuten Assets darstellen. Diese sind jedoch in den Betrachtungen dieser Arbeit nicht enthalten.

Demgegenüber steht der Erneuerungswert im Sinne eines theoretischen Neubaus des Gesamtnetzes. Entsprechend den Ausführungen des ASFINAG [4] wurden im Jahr 2021 ca. 482 Mio. € in den Neubau des Infrastrukturnetzes investiert. Durch die Aufteilung dieser Summe auf die rd. 29,7 km Autobahnen und Schnellstraßen, die sich in Bau befinden (Stand 01.01.2022) [7], ergibt sich eine grobe Abschätzung der Kosten pro Kilometer<sup>5</sup> von 16,2 Mio. €/km. Dieser Wert berücksichtigt überschlagsmäßig die Investitionen innerhalb eines Jahres für den Bau eines Kilometers Autobahn oder Schnellstraße. Für die Berechnung des Erneuerungswerts als theoretischer sofortiger Neubau des Gesamtnetzes würden sich somit für die Streckenlänge von 2258 km ein Erneuerungswert von rd. 36 596 Mio. €<sup>6</sup> ergeben.

Durch den Vergleich der beiden Interpretationen des Begriffs „Erneuerungswert“ wird deutlich, dass es sich dabei im Sinne des Forschungsprojekts *TAniA* um einen theoretischen Wert handelt, der eigens für die technische Anlagenbewertung definiert wurde. Er weicht stark von jeglichen Werten für einen kompletten Neubau der Infrastruktur oder einer Erneuerung unter Berücksichtigung eines vorherigen Abrisses und Wiederaufbaus ab. Zudem sind keine Kosten für Verkehrsführungen, Ausrüstungen, Rastplätze, Hochbauten und zusätzliche Stützbauwerke sowie Lärmschutzwände enthalten.

## 5.5 Zusammenfassung der Implementierung des technischen Anlagenwerts in den ASFINAG-Datenbanken

Aufbauend auf den Ausführungen zur Entwicklung des Berechnungsmodells für einen zustandsbasierten technischen Anlagenwert und den Grundlagen des derzeit verwendeten Datenmanagementsystems befasst sich dieses Kapitel mit den Schritten der Implementierung in den Datenbanken der ASFINAG. Zu Beginn steht die Durchführung einer detaillierten Untersuchung der vorhandenen Daten im PMS, BMS und TMS hinsichtlich den erforderlichen Eingangsgrößen und dem jeweils anzuwendenden Zustandsprognosemodell. Darauf aufbauend werden in Abschnitt 5.2 die notwendigen Ergänzungen in den Datenbanken beschrieben. Diese umfassen den Einbau zusätzlicher Attribute in den Master-Tabellen, *Analysis Expressions* und *Analysis Variables*. Anschließend erfolgt die Integration der Analysevariablen für den technischen Anlagenwert im bestehenden Analyseset der Lebenszyklusanalyse. Den Abschluss des vorliegenden Kapitels bildet der Export der durchgeführten Berechnungen des technischen Anlagenwerts je Datenbank und die Zusammenführung der Ergebnisse mittels Excel-Tabellen. Dies ist erforderlich, da das bestehende Erhaltungsmanagement in getrennten Datenbanken je Anlagenart arbeitet. Durch die Ergänzung des technischen Anlagenwerts sollen allerdings die bestehenden Prozesse lediglich erweitert und nicht verändert werden. Zusätzlich zeigt dieses Kapitel zum Schluss einen kurzen Überblick über die Ergebnisse des technischen Anlagenwerts auf Netzebene des höherrangigen Straßennetzes in Österreich. Eine genauere Analyse erfolgt im nachfolgenden Kapitel dieser Forschungsarbeit.

<sup>5</sup>  $\frac{482 \text{ Mio. €}}{29,7 \text{ km}} = 16,2 \text{ Mio. €/km}$

<sup>6</sup>  $2258 \text{ km} \cdot 16,2 \text{ Mio. €/km} = 36 596 \text{ Mio. €}$

## Kapitel 6

# Analyse der Ergebnisse des technischen Anlagenwerts am Beispiel des ASFINAG-Netzes

Der zustandsbasierte technische Anlagenwert für den Infrastrukturbau hat zum Ziel, zukünftig ein zusätzlicher wesentlicher Indikator für die Planung von Erhaltungsstrategien zu sein. Außerdem bietet er den Straßenbetreibern die Möglichkeit eines länder- und netzübergreifenden Vergleichs. Hierfür ist das Wissen über die möglichen Aussagen auf den unterschiedlichen Betrachtungsebenen und Auswirkungen von geänderten Eingangsgrößen von großem Interesse. An dieser Stelle sei erwähnt, dass die hierfür erforderlichen Berechnungsvarianten, insbesondere dank der umfangreichen Bestandsdatenbank und der hohen Datenqualität der ASFINAG möglich sind, welche der Autorin als einziges Datenset zur Verfügung standen. Durch die Implementierung des Berechnungsalgorithmus in weiteren Ländern oder Infrastrukturbereichen könnten weiterführende und zusätzliche Untersuchungen vorgenommen werden.

Zunächst zeigt dieses Kapitel anhand der Ergebnisse aus den zur Verfügung gestellten Datenbanken des ASFINAG-Netzes unterschiedliche Auswertungs- und Darstellungsvarianten auf den einzelnen Anwendungsebenen sowie die daraus ableitbaren Erkenntnisse für den Straßenerhalter. Anschließend erfolgt ein Vergleich der verschiedenen Budgetszenarien in den Datenbanken des Straßenoberbaus und der Brücken für die Planung des zukünftig erforderlichen Investitionsbudgets. Wie sich bereits bei der Berechnung der Teststrecken innerhalb des Forschungsprojekts *TAniA* gezeigt hat, bedingt die unterschiedliche Datenqualität der DACH-Länder die Anwendung verschiedener Zustandsprognosevarianten (siehe Abschnitt 3.4.2) und vereinzelte Anpassungen. Aus diesem Grund liefert dieses Kapitel abschließend einerseits eine Gegenüberstellung der Berechnungen auf Basis der Zustandsprognose nach Variante A – Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen (PMS, BMS, TMS) und Variante C – Standardlebenszyklen. Andererseits erfolgt ein Vergleich des normierten technischen Anlagenwerts auf Grundlage der Bauwerksnoten und dem Wert auf Basis der Bauteilnoten. Die Autorin möchte an dieser Stelle darauf hinweisen, dass die in diesem Kapitel angeführten Vergleiche und Analysen lediglich Beispiele für eine zukünftige Anwendung des technischen Anlagenwerts aufzeigen und daher kein Anspruch auf Vollständigkeit gestellt wird.

### 6.1 Betrachtung des technischen Anlagenwerts auf unterschiedlichen Anwendungsebenen

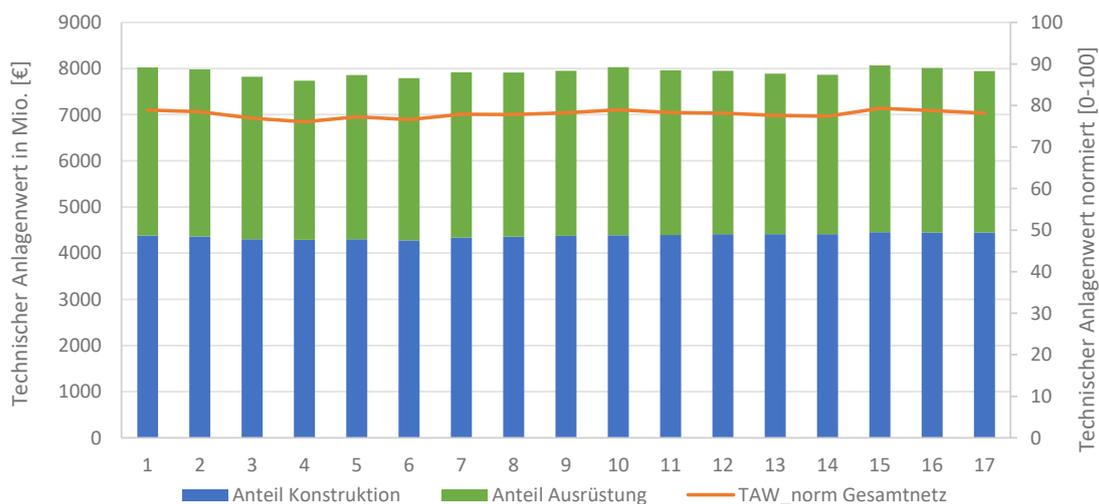
In Abschnitt 3.2.1 dieser Arbeit wurde erläutert, dass der technische Anlagenwert der Straßeninfrastruktur für Betrachtungen auf unterschiedlichen Ebenen herangezogen werden kann. Dies soll an dieser Stelle nochmals praktisch geprüft und die daraus ableitbaren Erkenntnisse dargestellt werden. Die fünf Anwendungsebenen umfassen von einer gesamtheitlichen Betrachtung bis zur Detailbetrachtung die Netzebene, Abschnitts- bzw. Streckenebene, Anlagenebene, Funktionsebene und Bauteilebene. Die nachfolgend beschriebenen Auswertungen auf unterschiedlichen Anwendungsebenen befassen sich grundsätzlich mit den Standardbudgetszenarien für den Stra-

ßenoberbau (Bauprogramm (BPR) mit Startjahr 2022 und anschließend jährlich 140 Mio. €<sup>7</sup>) und die Brücken (7 Jahre BPR mit Startjahr 2020 und anschließend jährlich 150 Mio. €<sup>7</sup>) sowie ein unlimitiertes Budget nach Standardlebenszyklus für die Tunnel. Sie zeigen beispielhaft mögliche Auswertungen auf den jeweiligen Ebenen auf Grundlage des ASFINAG-Netzes.

### 6.1.1 Ebene 5 – Netzebene

Die Netzebene umfasst alle Straßenzüge inkl. Brückenbauwerke und Tunnel, die von der ASFINAG betreut werden. Dazu zählen grundsätzlich laut Netzzustandsbericht 2020 [37] auch jene Abschnitte, die die *Bonaventura Infrastruktur GmbH* betreibt und verwaltet. Diese erfüllen jedoch nicht die internen Systemanforderungen der Datenmanagementsysteme für die Zustandsprognose, weshalb sie in weiterer Folge kein Bestandteil der technischen Anlagenwertberechnung sind. Durch Addition der Datenbankergebnisse ergibt sich für das zur Verfügung gestellte Netz der österreichischen Autobahnen- und Schnellstraßen ein Erneuerungswert im Sinne des *TANI*-Projekts von 10 168,0 Mio. €. Dieser Wert berücksichtigt gemäß der im Forschungsprojekt getroffenen Definition eine intensive Instandsetzung der bestehenden Objekte bis zur Erreichung der Zustandsnote 1 – sehr guter Zustand, jedoch keinen kompletten Neubau (siehe Abschnitt 3.1). Demnach werden beispielsweise keine neuen Pfeilerfundamente, kein neuerlicher Ausbruch der Tunnelröhre oder neue Straßenbefestigungen berücksichtigt. Zusätzlich ist anzumerken, dass in diesen Betrachtungen die Verkehrsführung aufgrund der Bautätigkeiten sowie große Anteile des Portfolios nicht betrachtet werden, wie beispielsweise Lärmschutzwände, Überkopfwegweiser, Park- und Rastplätze.

Der Verlauf des monetären und technischen Anlagenwerts innerhalb der Betrachtungsperiode ist in Abb. 6.1 inkl. den Anteilen der Konstruktion und Ausrüstung dargestellt. Dabei ist ersichtlich, dass das Gesamtnetz einen annähernd gleichbleibend hohen technischen Anlagenwert ( $60 \leq TAW_{t,n} < 80$ ) über den gesamten Zeitraum aufweist. Insbesondere der Wert der konstruktiven Bauteile ist dabei sehr konstant, woraus geschlossen werden kann, dass die geplanten Erhaltungsmaßnahmen insbesondere die tragenden Bauteile in einem guten Zustand halten.



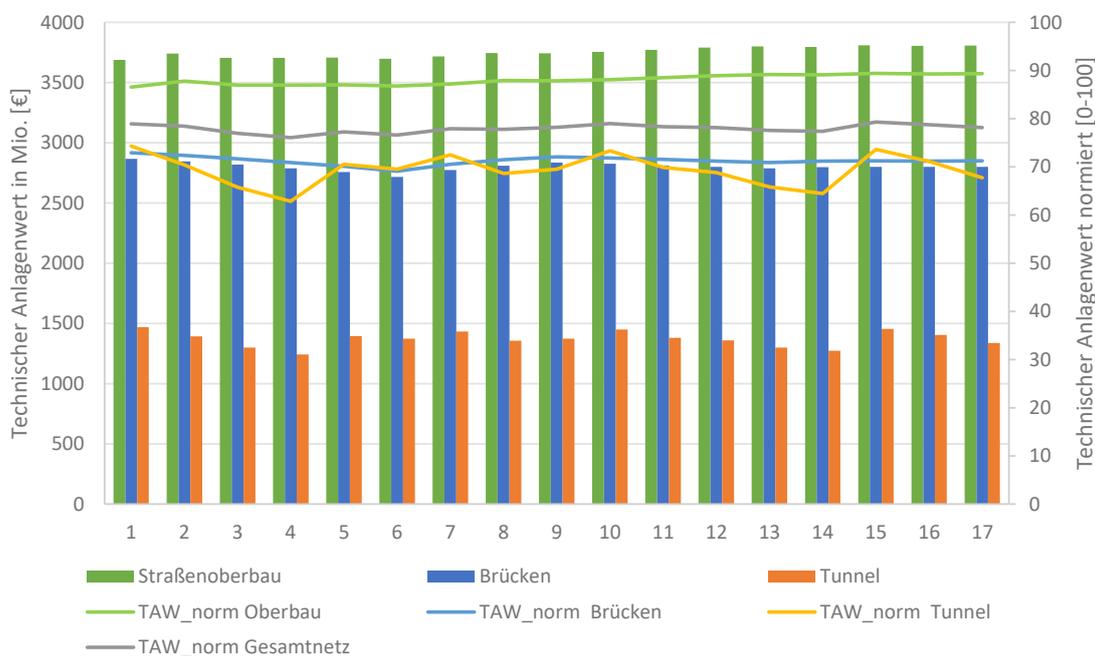
**Abb. 6.1:** Technischer Anlagenwert monetär und normiert für das Gesamtnetz im Betrachtungszeitraum

Diese Informationen könnten zusätzlich als Basis für länderübergreifende Netzbetrachtungen oder Vergleiche zwischen unterschiedlichen Straßenbetreibern herangezogen werden. Beispielhaft

<sup>7</sup>Budget berücksichtigt 100 % zielgerichtete Investitionen ohne Bündelungseffekte

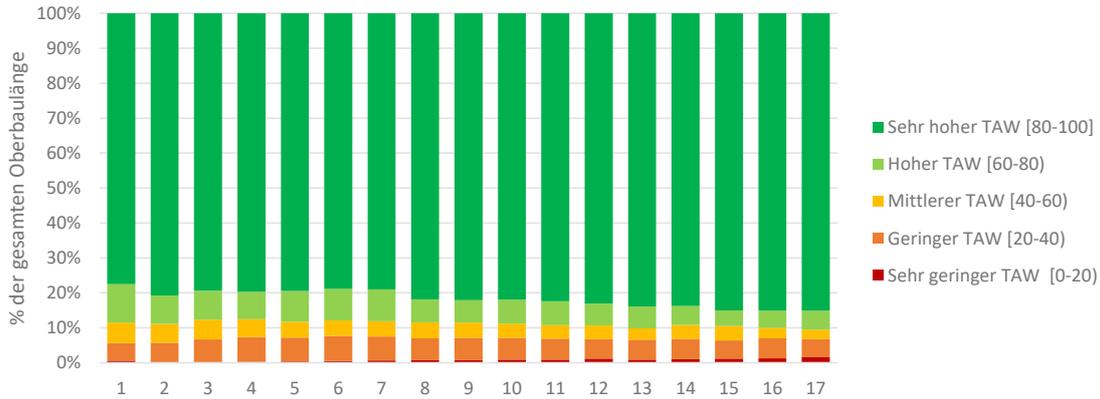
wurde dies für Teststrecken in Österreich, Deutschland und der Schweiz bereits im Zuge des TAniA-Projekts durchgeführt. Für den direkten Vergleich sollte dabei immer der normierte technische Anlagenwert herangezogen werden, da dieser etwaige Währungsunterschiede und Preisniveaus herausrechnet.

Eine weitere Möglichkeit der Betrachtung auf Netzebene zeigt Abb. 6.2, welche neben dem monetären technischen Anlagenwert auch die Verläufe des normierten technischen Anlagenwerts je Anlagentyp über die gesamte Betrachtungsperiode zusammenfasst. Daraus ist zu erkennen, dass der Straßenoberbau den höchsten technischen Anlagenwert aufweist, sowohl monetär als auch normiert. Demzufolge ist der Straßenoberbau im Netz der ASFINAG durchschnittlich in einem sehr guten Zustand aus Sicht des technischen Anlagenwerts und kann diesen mit dem Standardbudget von 140 Mio. € (bei 100 % zielgerichtetem Investitionseinsatz ohne Bündelungseffekte) im Anschluss an das BPR beibehalten. Den zweitgrößten Anteil besitzen die Brückenanlagen, deren normierter technischer Anlagenwert zwar deutlich unter jenem des Straßenoberbaus liegt, jedoch diesen auch mit dem geplanten BPR und Investitionsbudget annähernd halten kann. Den eindeutig geringsten Anteil stellen die Tunnelanlagen dar. Aus dem Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts für die Tunnelanlagen ist ersichtlich, dass deren Wert in den prognostizierten Jahren prozentual stark schwankt, was auf die Zustandsprognose mittels Standardlebenszyklen zurückzuführen ist. Diese berücksichtigt keine Budgetvorgaben und plant Erhaltungsmaßnahmen ausschließlich aufgrund des Alters der Bauteile, wodurch keine Optimierung durch langsamere Degradation oder Zusammenfassung von Maßnahmen erfolgt. Durch den geringen Anteil der Tunnel gegenüber den Straßenoberbauten und Brücken am Gesamterneuerungswert zeichnen sich diese Schwankungen allerdings nur gering im normierten technischen Anlagenwert für das Gesamtnetz ab.

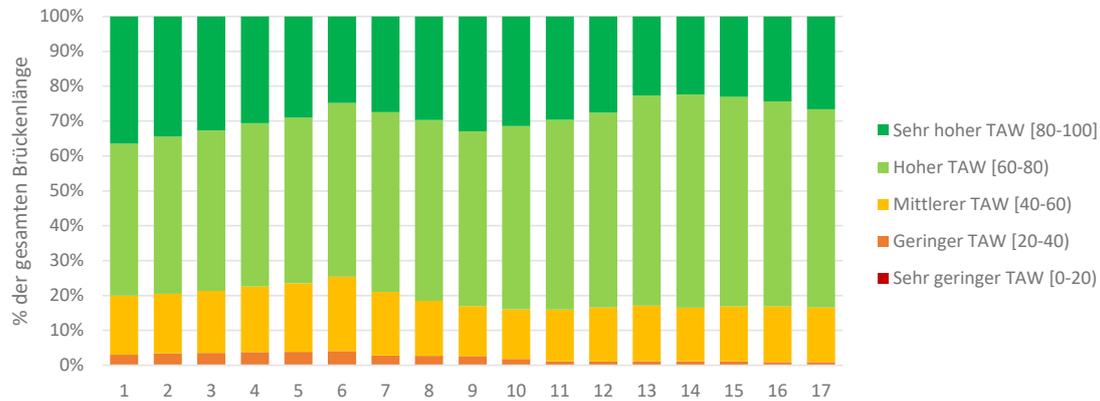


**Abb. 6.2:** Technischer Anlagenwert monetär und normiert für das Gesamtnetz im Betrachtungszeitraum

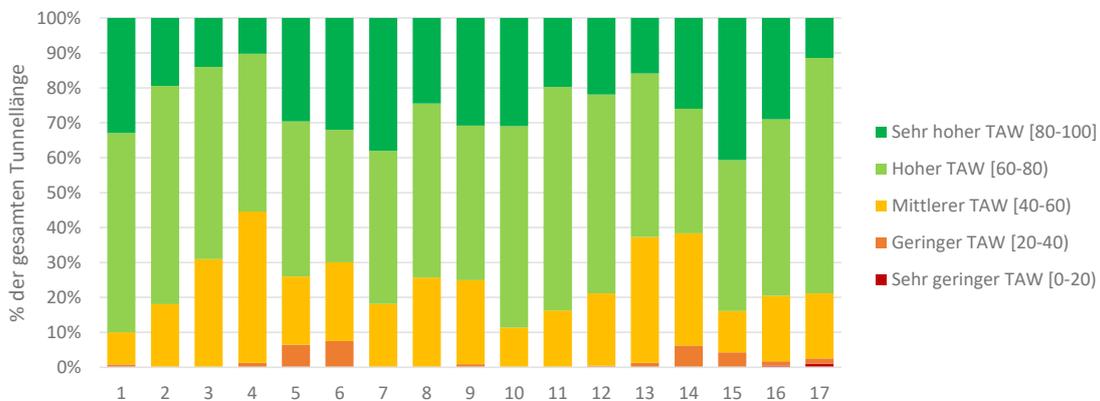
Für eine genauere Betrachtung des technischen Anlagenwerts je Anlagenart auf Netzebene eignet sich die Darstellung der Verteilung unter Berücksichtigung der Kategorisierung des normierten technischen Anlagenwerts (siehe Abb. 6.3 bis Abb. 6.5). Dadurch kann die prozentualen



**Abb. 6.3:** Verteilung des Straßenoberbaus nach Länge je Kategorie des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum



**Abb. 6.4:** Verteilung der Brücken nach Länge je Kategorie des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum



**Abb. 6.5:** Verteilung der Tunnel nach Länge je Kategorie des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum

Verteilungen je Kategorie (gemäß Tab. 3.9) für die einzelnen Bauwerksarten Straßenoberbau, Brücke und Tunnel aufgezeigt werden. Diese Form der Darstellung spiegelt für den Oberbau ebenfalls den großen Anteil an Straßenabschnitten mit einem sehr hohen normierten technischen Anlagenwert ( $80 \leq TAW_{t,n} \leq 100$ ) wider. Es ist jedoch zusätzlich zu sehen, dass innerhalb des Betrachtungszeitraums dennoch Abschnitte mit einem sehr geringen technischen Anlagenwert ( $0 \leq TAW_{t,n} < 20$ ) auftreten. Dies kommt bei den Brücken und Tunnelanlagen nur in einem sehr kleinen Ausmaß bis gar nicht vor. Demnach kann daraus geschlossen werden, dass die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen bei den Ingenieurbauwerken früher erfolgt, wohingegen beim Straßenoberbau auch ein schlechterer Zustand kurzfristig vorkommen kann. Der geringere technische Anlagenwert entsprechend Abb. 6.2 ist in dieser Darstellungsvariante ebenfalls durch den größeren Anteil der Brücken und Tunnel in der Kategorie des hohen normierten technischen Anlagenwerts ( $60 \leq TAW_{t,n} < 80$ ) erkennbar.

### 6.1.2 Ebene 4 – Abschnitts- bzw. Streckenebene

Für Auswertungen auf der Abschnitts- bzw. Streckenebene können unterschiedliche Clusterungen vorgenommen werden. Hier bieten sich einerseits die einzelnen Straßenzüge oder beispielsweise die Maut-Korridore gemäß dem Netzzustandsbericht 2020 [37] an. Diese bieten für den Straßenerhalter den Vorteil der Vergleichbarkeit mit den erfassten Mauterlösdaten. Abb. 6.6 zeigt die Zuordnung der Streckenabschnitte zu den sieben Korridoren

- Arlberg: A14, S16 und A12 teilweise,
- Brenner: A13 und A12 teilweise,
- Donau: A01, A07, A08, A25, S10 und S33,
- Großraum Wien: A03, A04, A05, A06, A21, A22, A23, S01, S02, S03, S04, S05 und S31,
- Pyhrn: A09,
- Süd: A02, S06, S35, S36 und S37 sowie
- Tauern: A10 und A11.

Daraus abgeleitet ergeben sich die längenbezogenen Verteilungen des Straßenoberbaus, der Brücken und Tunnel gemäß dem Diagramm in Abb. 6.7. Dabei ist klar zu erkennen, dass die Maut-Korridore Süd, Donau und Großraum Wien sowohl die meisten Straßenkilometer als auch Brückenkilometer aufweisen. Die größte Anzahl an Tunnelkilometern weisen die Korridore Pyhrn, Arlberg und Süd auf. Aus diesen Zuordnungen abgeleitet können auch die Erneuerungswerte für die einzelnen Maut-Korridore, aufgeteilt auf die Anlagenarten, berechnet werden (Abb. 6.8). Dabei ist bereits aufgrund der Längenanteile nicht verwunderlich, dass der Süd-Korridor den größten Anteil am Gesamterneuerungswert beinhaltet. Dementsprechend kann daraus abgeleitet werden, dass dieser einen großen Einfluss auf den technischen Anlagenwert des Gesamtnetzes besitzt.

Der Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts je Maut-Korridor ist in Abb. 6.9 für den Betrachtungszeitraum von 17 Analysejahren dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass alle Korridore durchschnittlich einen hohen bzw. sehr hohen technischen Anlagenwert ( $TAW_{t,n} \geq 60$ ) aufweisen. Zusätzlich kann dem Diagramm entnommen werden, dass auf den beiden Korridoren Arlberg und Brenner in der ersten Hälfte des Betrachtungszeitraums offenbar wertsteigernde Erhaltungsmaßnahmen geplant sind. Insbesondere die Maut-Korridore Donau, Großraum Wien und Süd weisen einen gleichbleibend hohen technischen Anlagenwert auf. Dies deckt sich mit der europäischen



Abb. 6.6: Karte der Maut-Korridor (Quelle: Honeger et al. [37, S. 12])

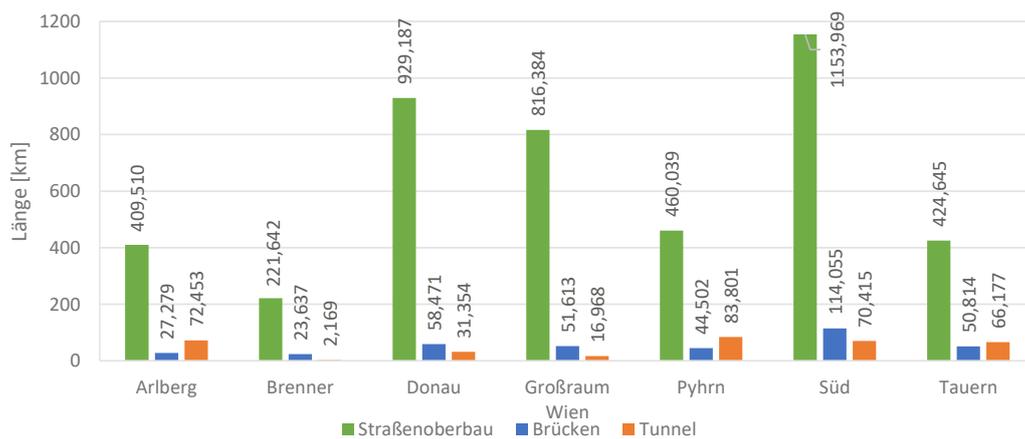


Abb. 6.7: Längenanteile von Oberbau, Brücke und Tunnel je Maut-Korridor

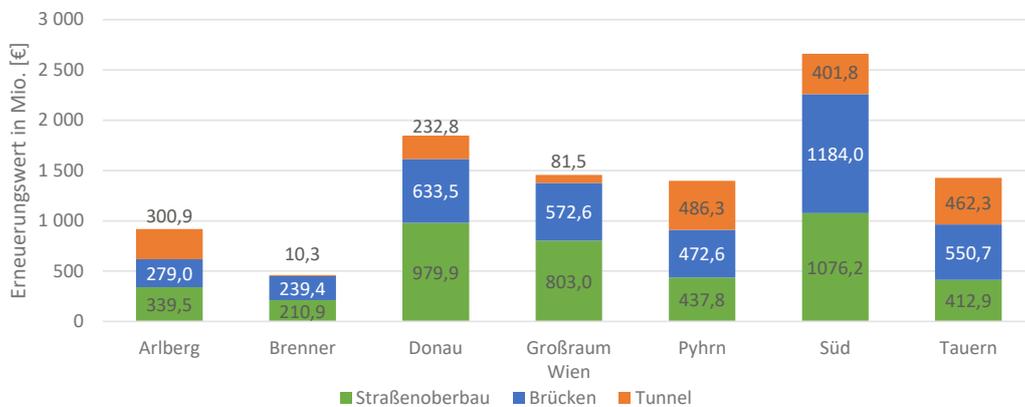


Abb. 6.8: Anteile am Erneuerungswert von Oberbau, Brücke und Tunnel je Maut-Korridor

Verordnung über den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrsnetzes laut Netzzustandsbericht 2020 [37] und den damit verbundenen Zielen für die Sicherheit des definierten Kernbereichs. Zu diesem Bereich gehört auch der Brenner-Korridor, weshalb die Steigerung des technischen Anlagenwerts ebenfalls in Korrelation mit der Erfüllung der Ziele des transeuropäischen Straßennetzes steht.

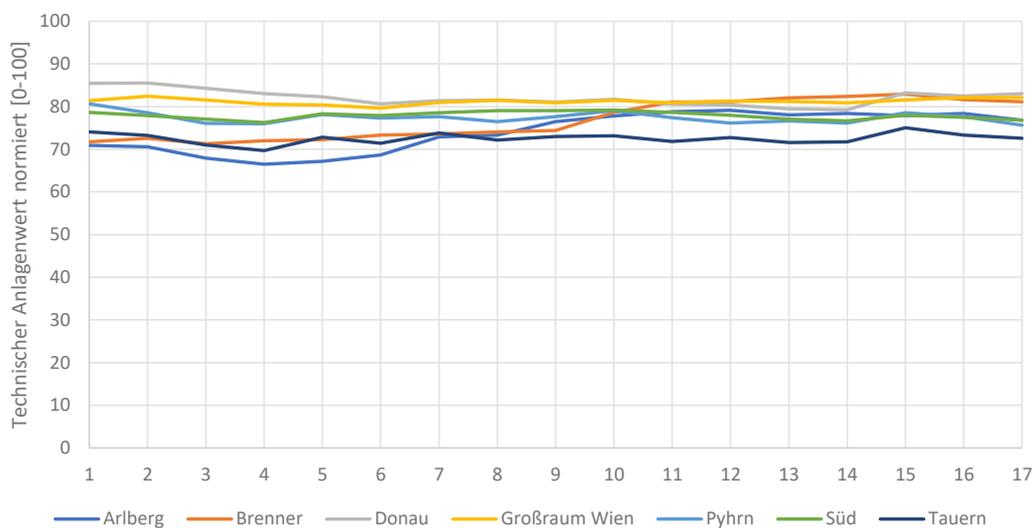


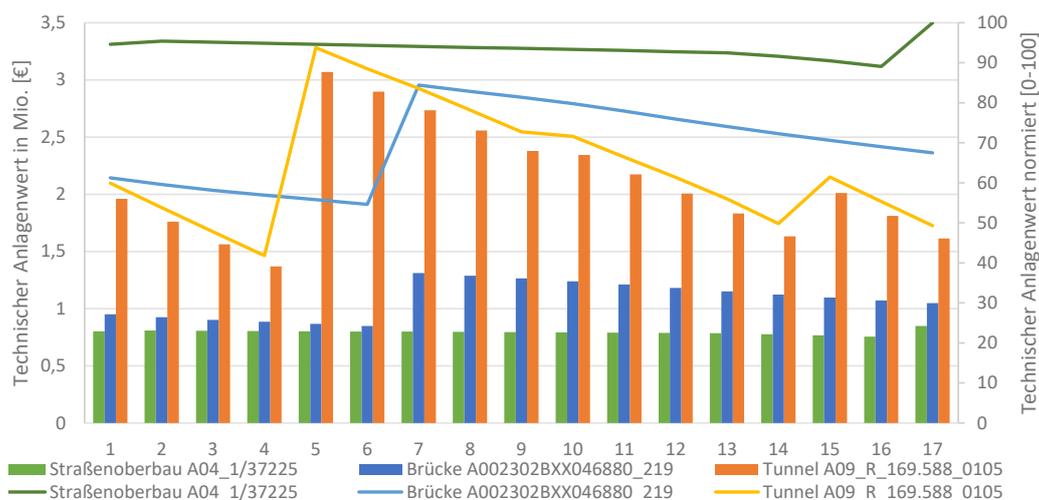
Abb. 6.9: Normierter technischer Anlagenwert je Maut-Korridor im Betrachtungszeitraum

### 6.1.3 Ebene 3 – Anlagenebene

Die Berechnung des monetären und normierten technischen Anlagenwerts auf Ebene 3 – Anlagenebene ermöglicht die Darstellung der prognostizierten Entwicklung für jedes einzelne Objekt innerhalb des ASFINAG-Netzes. Dies ist bereits ohne Zusammenführung in den einzelnen Datenbanken möglich, beispielsweise über die Registerkarte **Review and Adjust**. Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurde für jeden Anlagentyp ein Objekt (Straßenabschnitt bzw. Bauwerk) nach dem Zufallsprinzip ausgewählt.

Abb. 6.10 gibt den Verlauf des monetären und normierten technischen Anlagenwerts für diese Anlagen innerhalb des Betrachtungszeitraums wieder. Aus den Verläufen ist jeweils ersichtlich, zu welchem Zeitpunkt wertsteigernde Maßnahmen an den Objekten geplant sind. Die Sprünge im Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts lassen zusätzlich eine Einschätzung über den Umfang der Erhaltungsmaßnahme zu. Je höher der Wert nach der Maßnahme ist, umso umfangreicher und mehr Anlagenteile sind betroffen. Am Beispiel des Straßenoberbaus (grün) lässt sich erkennen, dass im Analysejahr 16 eine sehr umfangreiche Erhaltungsmaßnahme geplant ist, welche den Zustand stark verbessert und somit einen technischen Anlagenwert von  $TAW_{t,n} = 100$  ermöglicht. Sowohl die Maßnahmen an der Brücke (blau) als auch am Tunnel (orange) bewirken keine vollständige Beseitigung des Wertverlusts, aber bringen dennoch eine wesentliche Verbesserung. Insbesondere am Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts des Tunnels sind unterschiedliche Maßnahmenarten (Instandsetzung, Erneuerung etc.) zu erkennen.

Anhand des monetären technischen Anlagenwerts kann abgeleitet werden, wie groß die jeweilige Anlage im Sinne des technischen Anlagenwerts bzw. deren Beitrag zum Gesamtwert ist. Aus den abgebildeten Anlagen ist beispielsweise ersichtlich, dass der Tunnel den wertmäßig größten Beitrag liefert obwohl er gemäß dem Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts teilweise nur einen mittleren Wert aufweist ( $40 \leq TAW_{t,n} < 60$ ). Die Brücke weist zu Beginn der Betrachtungsperiode



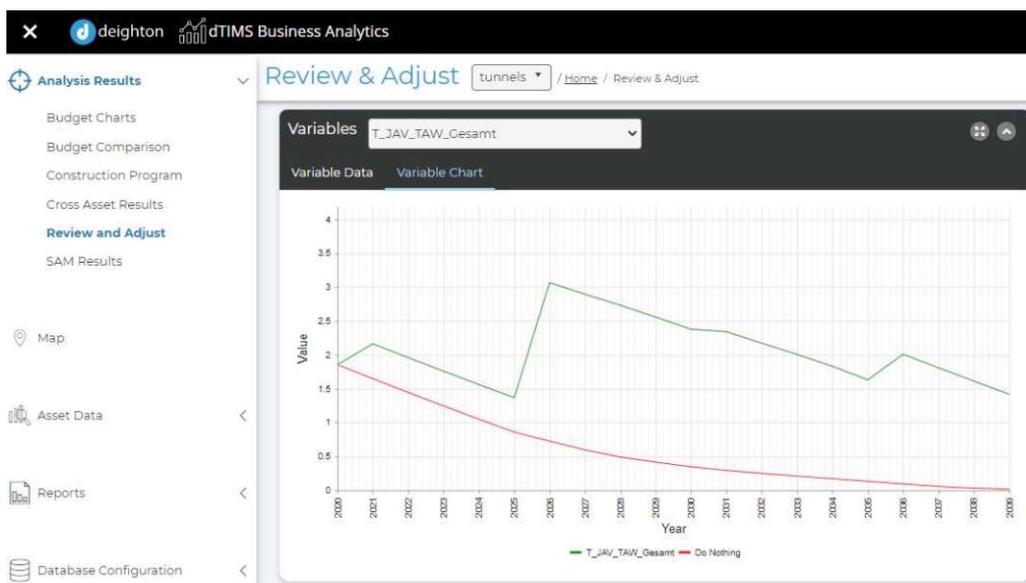
**Abb. 6.10:** Normierter und monetärer technischer Anlagenwert von zufällig ausgewählten Anlagen je Anlagentyp im Betrachtungszeitraum

einen ähnlich hohen monetären technischen Anlagenwert wie der Straßenoberbau auf. Da dieser jedoch zu diesem Zeitpunkt einen wesentlich höheren normierten technischen Anlagenwert besitzt, kann ebenfalls davon ausgegangen werden, dass der Straßenoberbau einen besseren Zustand besitzt. Die Brücke weist demnach einen größeren Erneuerungswert auf und liefert somit einen größeren Anteil am technischen Anlagenwert des Gesamtnetzes als der Straßenabschnitt.

Allgemein ist anzumerken, dass diese gemeinsame Darstellung nicht direkt in den Datenbanken möglich ist, sondern erst nach einem Export durch die Zusammenführung der Ergebnisse erzeugt werden kann. Abb. 6.11 zeigt beispielhaft die Darstellungsmöglichkeit für die Analysevariable des technischen Anlagenwerts für den zufällig ausgewählten Tunnel in dTIMS mittels **Review and Adjust**. Durch das Drop-Down-Menü zur Auswahl der Variablen kann zwischen dem normierten und monetären technischen Anlagenwert gewählt werden. In beiden Fällen wird zusätzlich immer der Verlauf der „Nichts-Tun“-Variante angezeigt, wodurch der Vergleich mit der Entwicklung ohne Erhaltungsmaßnahmen möglich ist.

### 6.1.4 Ebene 2 – Funktionsebene

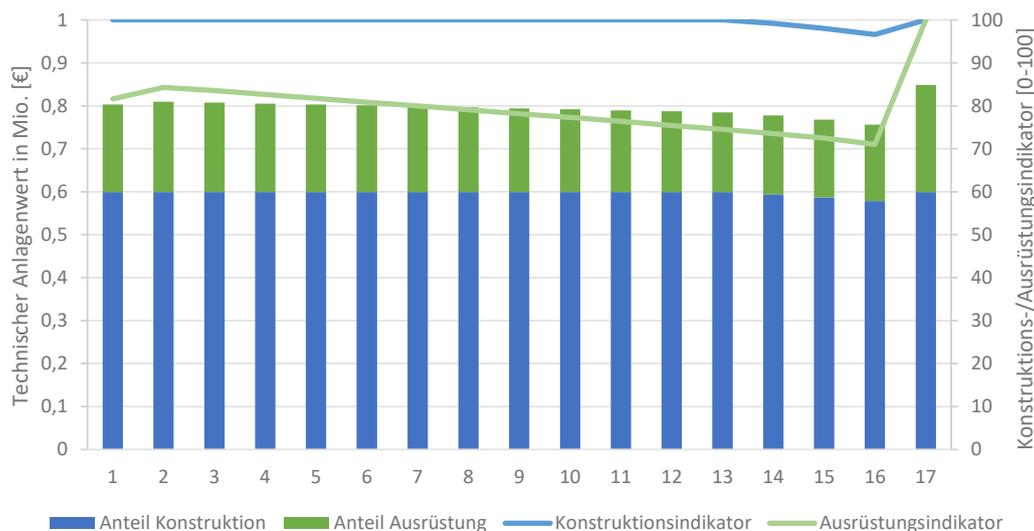
Mit Hilfe der Funktionsebene können die einzelnen Anlagen und die damit verbundenen Erhaltungsmaßnahmen systematisch näher untersucht werden. Hierfür ist jedoch die Zustandsprognose für die einzelnen Bauteile oder zumindest die entsprechenden Anteile der Konstruktion bzw. Ausrüstung erforderlich. Für die an dieser Stelle beispielhaft angeführten Berechnungsergebnisse wurden die zuvor bereits erwähnten zufällig ausgewählten Anlagen des Straßenoberbaus sowie der Brücken und Tunnel herangezogen. Abb. 6.12 zeigt die Anteile der Konstruktion bzw. Ausrüstung des Straßenabschnitts *A04\_1/37225* am monetären technischen Anlagenwert und die damit verbundenen Indikatoren. Daraus ist ersichtlich, dass die Konstruktion einen wesentlich höheren monetären Wert besitzt und dabei auch einen sehr hohen Konstruktionsindikator aufweist. Dies lässt darauf schließen, dass sich die konstruktiven Bauteile des Straßenabschnitts in einem sehr guten Zustand befinden. Des Weiteren ist aus der Grafik ablesbar, dass der Wertverlust im Sinne des technischen Anlagenwerts für die Anlage auf den Zustand der Ausrüstung zurückgeführt werden kann. Der Ausrüstungsindikator weist einen Wertrückgang bis zur Erhaltungsmaßnahme in Analysejahr 16 auf. Durch die geplante Maßnahme können beide Indikatoren wieder bis auf den



**Abb. 6.11:** Darstellung des normierten technischen Anlagenwerts einer zufällig ausgewählten Anlage im Betrachtungszeitraum über Review and Adjust in dTIMS

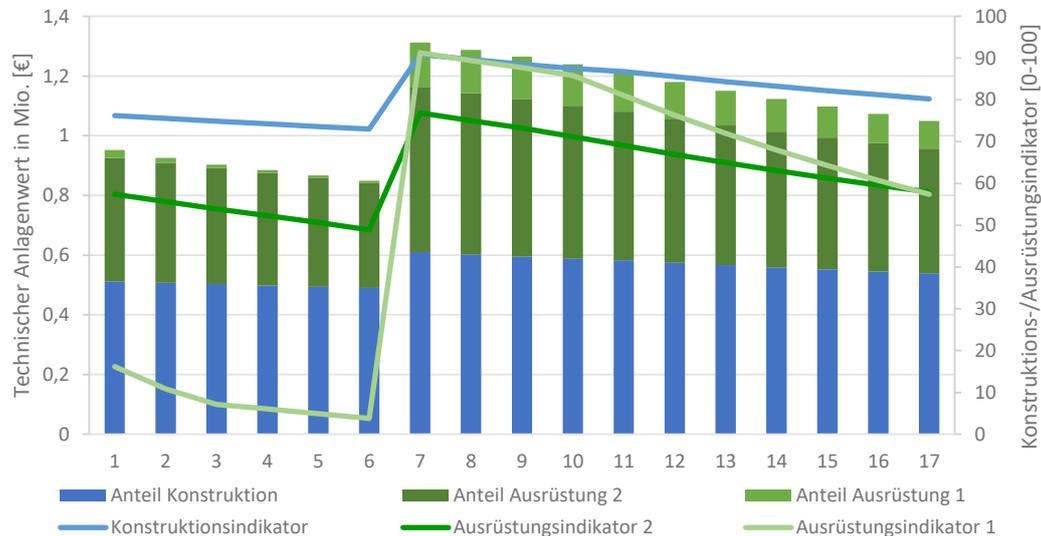
vollen technischen Anlagenwert (= Erneuerungswert im Sinne des *TAniA-Projekts*) angehoben werden.

Bei Brücken stehen auf der Funktionsebene, gemäß der Gliederung zur Berechnung des technischen Anlagenwerts, ein Konstruktionsindikator und zwei Ausrüstungsindikatoren für eine nähere Betrachtung zur Verfügung (siehe Abb. 6.13). Die Prognose der ausgewählten Brücke *A002302BXX046880\_219* zeigt eine geplante Maßnahme zur Wertsteigerung im Analysejahr 7, die sich auf alle drei Indikatoren auswirkt. Insbesondere die Anlagenteile des Ausrüstungsindikators 1 (Fahrbahnübergang und sonstige Ausrüstung) weisen eine umfassende Zustandsverbesserung nach dieser Erhaltungsmaßnahme auf. Anhand der Anteile am monetären technischen Anlagenwert ist



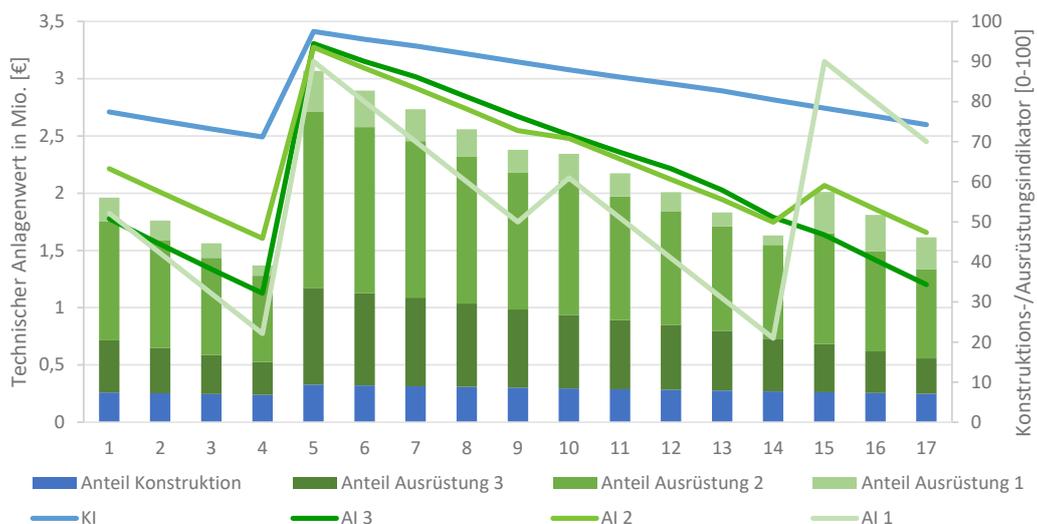
**Abb. 6.12:** Technischer Anlagenwert des Straßenabschnitts *A04\_1/37225* im Betrachtungszeitraum

allerdings ebenfalls ersichtlich, dass diese Anlagenteile einen wesentlich geringeren Wert besitzen als jene der Konstruktion bzw. des Ausrüstungsindicators 2. Aus diesem Grund wirkt sich der sehr geringe technische Anlagenwert vor der geplanten Maßnahme nicht so stark auf den Gesamtwert des Bauwerks aus, welcher bei Vergleich mit Abb. 6.10 dem Verlauf des Konstruktions- und Ausrüstungsindicators 2 folgt.



**Abb. 6.13:** Technischer Anlagenwert von Brücke *A002302BXX046880\_219* im Betrachtungszeitraum

Die Betrachtung des technischen Anlagenwerts auf Funktionsebene eines Tunnels veranschaulicht, dass bei diesen Kunstbauten der Anteil der Ausrüstung gegenüber den konstruktiven Anlagenteilen einen wesentlich größeren Wert aufweist (siehe Abb. 6.14). Dies kann auf das hohe Maß an elektrotechnischen und maschinellen Anlagenteilen im Tunnel zurückgeführt werden. Anhand des Konstruktionsindicators (KI) und der drei Ausrüstungsindikatoren (AI) ist zu erkennen, dass im Analysejahr 5 eine umfangreiche Erhaltungsmaßnahme geplant ist. Diese hat

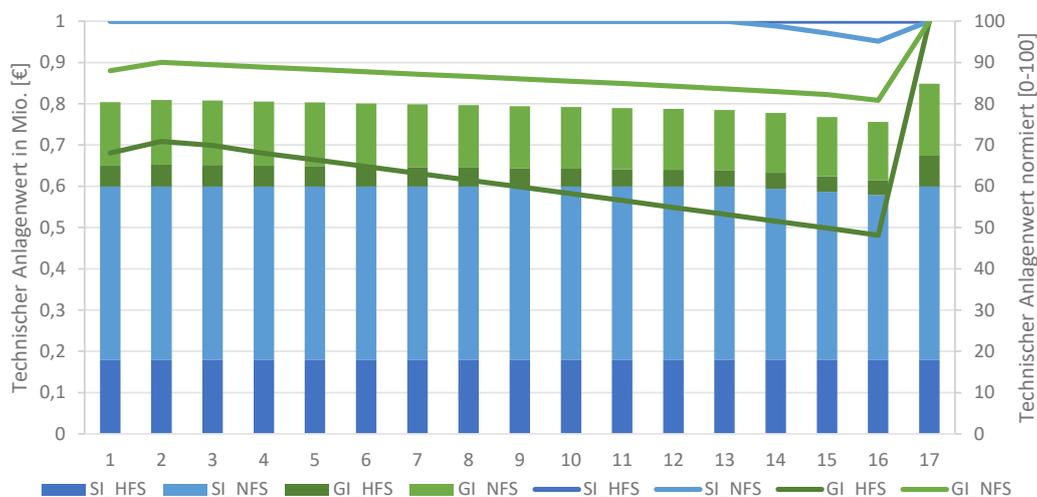


**Abb. 6.14:** Technischer Anlagenwert von Tunnel *A09\_R\_169.588\_0105* im Betrachtungszeitraum

wertsteigernde Auswirkungen auf alle Indikatoren, wobei jedoch keiner den vollen technischen Anlagenwert erreicht. Zusätzlich sind zwei weitere Maßnahmen im Abstand von jeweils 5 Jahren innerhalb der Betrachtungsperiode entsprechend dem Standardlebenszyklus prognostiziert, die ausschließlich die Ausrüstung betreffen. Dabei wirken sich die Zustandsverbesserungen jeweils am stärksten auf die Anlagenteile des Ausrüstungsindikators 1 aus. Der wertmäßige Anteil der Ausrüstung ist im Fall des Tunnels so groß, dass alle Erhaltungsmaßnahmen deutlich im Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts des Gesamtobjekts zu sehen sind (siehe Abb. 6.10).

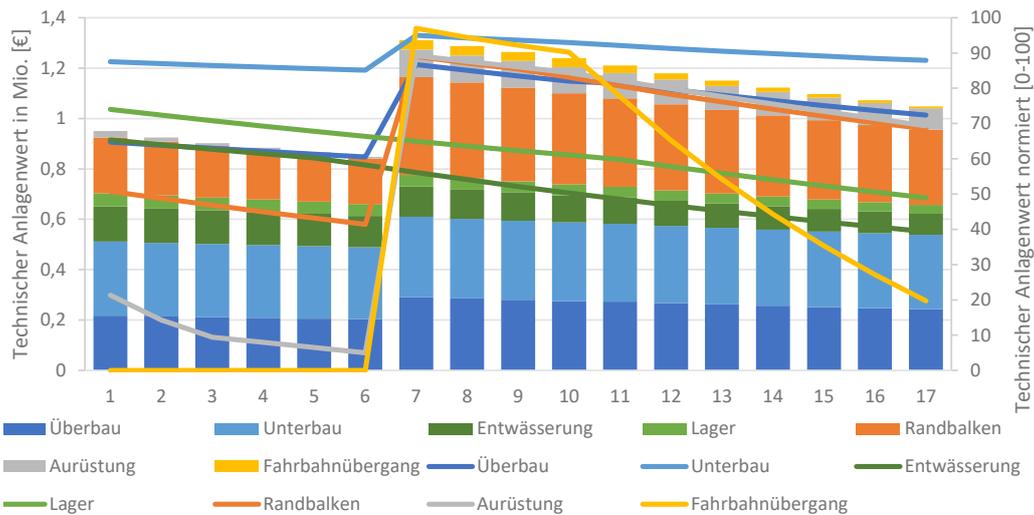
### 6.1.5 Ebene 1 – Bauteilebene

Die genaueste Betrachtung der wertmäßigen Entwicklung der Zustände im Sinne des technischen Anlagenwerts ist auf Ebene 1 – Bauteilebene möglich. Dies erfordert zwingend das Vorhandensein von Zustandsprognosemodellen für die einzelnen Anlagenteile. Durch den Verlauf des technischen Anlagenwerts der einzelnen Bauteile kann beurteilt werden, ob die Wertminderung des Objekts auf einzelne Anlagenteile zurückgeführt werden kann oder eine allgemeine Zustandsverschlechterung aller Teile darstellt. Ähnlich wie bei der Funktionsebene ist der Wertverlust des Straßenabschnitts *A04\_1/37225* auf die Anlagenteile der Ausrüstung zurückzuführen. Dies kann auf der Bauteilebene noch weiter spezifiziert werden. In Abb. 6.15 ist ersichtlich, dass insbesondere der Gebrauchswert des Hauptfahrstreifens einen geringeren technischen Anlagenwert aufweist, welcher durch die umfangreiche Erhaltungsmaßnahme wieder auf den vollen Wert gehoben wird. Zudem ist zu erkennen, dass diese Maßnahme sowohl den Haupt- als auch den Nebenfahrstreifen betrifft und zugleich der Substanzwert des Straßenabschnitts gehoben wird.



**Abb. 6.15:** Anteile des Gebrauchs- und Substanzwerts von Haupt- und Nebenfahrstreifen am technischen Anlagenwert des Straßenabschnitts *A04\_1/37225* im Betrachtungszeitraum

Abb. 6.16 zeigt den monetären und normierten technischen Anlagenwert der einzelnen Bauteile der Brücke *A002302BXX046880\_219*. Dabei ist auf den ersten Blick der sehr geringe technische Anlagenwert der Ausrüstung und des Fahrbahnübergangs ersichtlich, welche zum Ausrüstungsindikator 1 zu zählen sind. Des Weiteren geht aus der Grafik hervor, dass die Erhaltungsmaßnahme im Analysejahr 7 nicht alle Bauteile der Brücke umfasst. Die Entwässerung und Lager der Anlage erfahren in der Betrachtungsperiode keine umfangreiche Erhaltungs- oder Instandsetzungsmaßnahmen. Betreffend die Konstruktion zeigt die Abbildung grundsätzlich einen hohen technischen Anlagenwert bei Überbau und Unterbau, wobei der Unterbau offenbar einen besseren



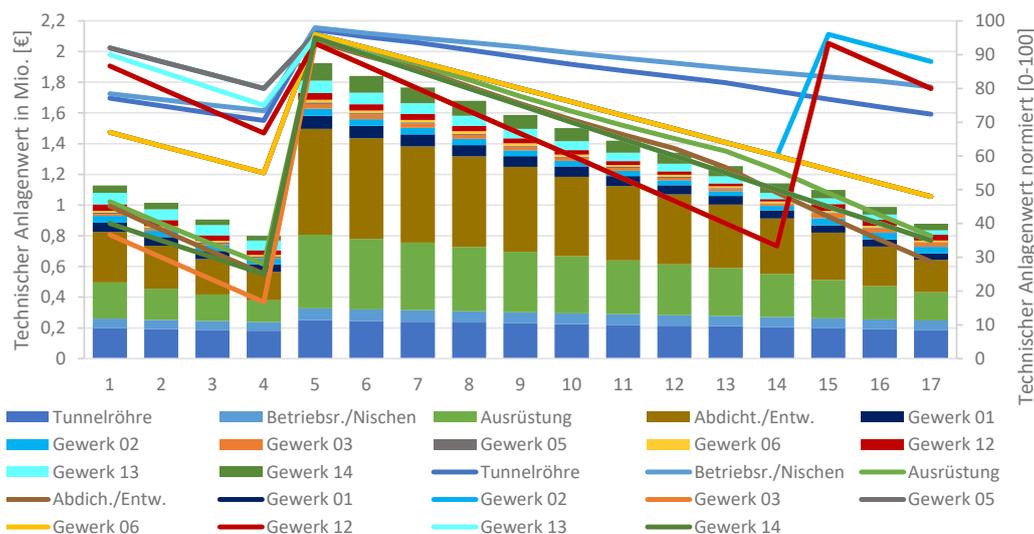
**Abb. 6.16:** Anteile der Bauteile am technischen Anlagenwert von Brücke *A002302BXX046880\_219* im Betrachtungszeitraum

Zustand aufweist. Beide Anlagenteile erfahren eine wesentliche Wertsteigerung durch die geplante Maßnahme.

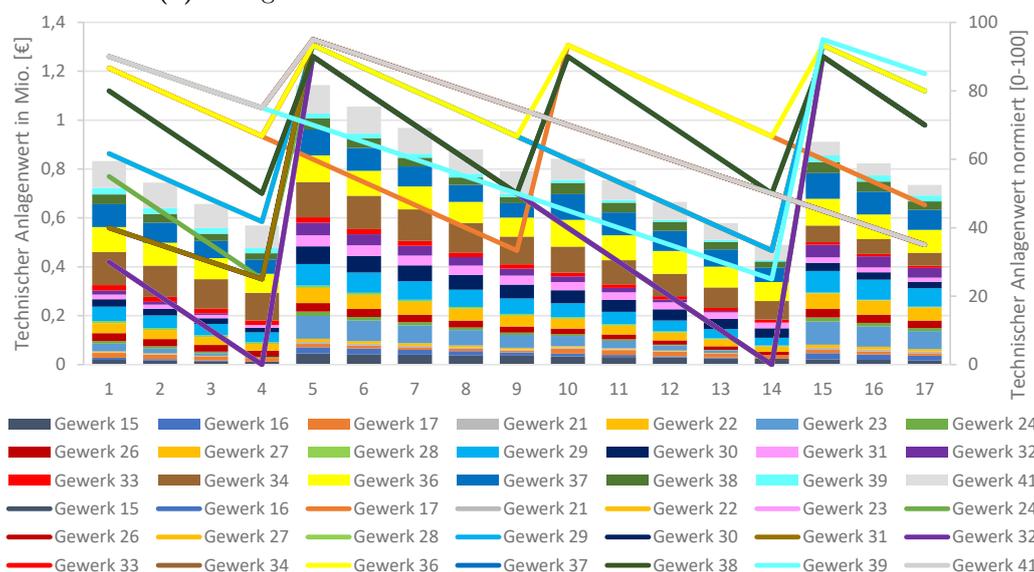
Die Berechnungen der Bauteile von Tunnelanlagen basieren derzeit auf Annahmen der Standardlebenszyklen aus der Datenbank des *OPTimal*-Projekts, wodurch sich für einige Ausrüstungsteile die gleichen Verläufe beim Zustand und in weiterer Folge dem technischen Anlagenwert ergeben. Da insbesondere die Vielzahl der möglichen elektrotechnischen und maschinellen Gewerke zu einer unübersichtlichen Darstellung führen würde, wurden in den Diagrammen des Tunnelobjekts *A09\_R\_169.588\_0105* ausschließlich jene Bauteile miteinbezogen, die auch tatsächlich vorhanden sind. In Abb. 6.17 ist ersichtlich, dass im Analysejahr 5 eine umfangreiche Erhaltungsmaßnahme prognostiziert ist, die fast alle Anlagenteile umfasst. Ausnahmen hiervon bilden lediglich die Gewerke 17 und 39. Aufgrund der Verwendung von Standarderhaltungsintervallen ist in den Diagrammen zudem erkennbar, dass der technische Anlagenwert teilweise vor Durchführung einer Maßnahme einen sehr niedrig Wert bis hin zu  $TAW_{t,n} = 0$  (violett) annimmt. Grundsätzlich kann mit dieser Methode dennoch der voraussichtliche Investitionsbedarf zur Erhaltung des technischen Anlagenwerts und die betreffenden Bauteile ermittelt werden. Zusätzlich ist mittels einer Betrachtung auf Bauteilebene ein Eindruck über den Einfluss jedes einzelnen vorhandenen Gewerks auf den Gesamtwert des Objekts ableitbar.

## 6.2 Gegenüberstellung des technischen Anlagenwerts mit unterschiedlichen Investitionsbudgets

Für die Straßenbetreiber spielt das Wissen über das zukünftig erforderliche Budget zur Aufrechterhaltung eines angemessenen Netzzustands eine wesentliche Rolle. Darauf begründet erfolgt in diesem Abschnitt eine Gegenüberstellung des prognostizierten technischen Anlagenwerts mit den unterschiedlichen Varianten des geplanten Investitionsbudgets, die bereits in den Datenbanken des PMS und BMS der ASFINAG implementiert sind. Dabei erfolgt die Analyse auf Basis von Realwerten sowohl beim technischen Anlagenwert als auch beim geplanten Budget. Die Ergebnisse der Tunneldatenbank werden in diesem Abschnitt nicht berücksichtigt, da sie mit Standardlebenszyklen und einem unlimitierten Budget rechnen. Hier findet keinerlei Optimierung der Erhaltungsmaßnahmen anhand eines vorgegebenen Budgets statt, wodurch auch keine Verglei-



(a) Anlagenteile Tunnel baulich und E&M-Gewerke 01 bis 14



(b) Anlagenteile Tunnel E&M-Gewerke 15 bis 42

Abb. 6.17: Anteile der Bauteile am technischen Anlagenwert von Tunnel A09\_R\_169.588\_0105 im Betrachtungszeitraum

che von unterschiedlichen Auswirkungen ableitbar sind. Aufgrund der getrennten Datenbanken und jeweils eigenen Budgetvarianten sowie Betrachtungszeiträume erfolgt die weitere Analyse zunächst getrennt für den Straßenoberbau und die Brücken.

### 6.2.1 Analyse der Budgetvarianten des PMS

Die Datenbank für den Straßenoberbau der ASFINAG enthält für die Prognose der Zustandsentwicklung sieben unterschiedliche Budgetvarianten. Diese berücksichtigen, mit Ausnahme des unlimitierten Budgets, in den ersten sechs Jahren das bereits definierte Bauprogramm (BPR) des Straßenerhalters mit Startjahr 2022. Im Anschluss an das BPR werden die erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen durch das PMS unter Einhaltung der Budgetgrenzen und ohne Berücksichtigung

sichtigung von Bündelungseffekten optimiert. Die vordefinierten jährlichen Budgets umfassen neben dem unlimitierten Budget und einem „DoNothing“-Budget mit 0€, die Varianten

- Budget von 98 Mio. € mit 70 % zielgerichtetem Mitteleinsatz,
- Budget von 119 Mio. € mit 85 % zielgerichtetem Mitteleinsatz,
- Budget von 140 Mio. € mit 100 % zielgerichtetem Mitteleinsatz,
- Budget von 160 Mio. € mit 100 % zielgerichtetem Mitteleinsatz sowie
- Budget von 235 Mio. € mit 100 % zielgerichtetem Mitteleinsatz.

Für jede dieser insgesamt sieben Budgetvarianten wurde mittels PMS eine Zustandsprognose erstellt, auf der die Berechnung des technischen Anlagenwerts für das Gesamtnetz aufbaut. Abb. 6.18 zeigt die Verläufe des normierten technischen Anlagenwerts anhand der unterschiedlichen Investitionsmittel. Dabei wird zur besseren Erkennbarkeit auf der Ordinate nur der Bereich des normierten technischen Anlagenwerts zwischen 50–100 angezeigt. Mit Hilfe dieser Grafik kann der voraussichtlich erforderliche Budgetbedarf zur Erreichung unterschiedlicher Erhaltungsziele im Sinne des technischen Anlagenwerts abgeschätzt werden. Den Ausgangspunkt bildet dabei der Wert des Straßenoberbaus mit  $TAW_{7,n} = 87,2$  am Ende des vordefinierten Bauprogramms. Sollte danach kein Budget für die Erhaltung zur Verfügung stehen (Budget DoNothing), dann ist klar ersichtlich, dass der Zustand und somit der technische Anlagenwert des Gesamtnetzes abfällt. Demnach kann davon ausgegangen werden, dass zur Wiedererlangung des Ausgangswerts umso mehr Geld investiert werden muss, je später diese Mittel zur Verfügung stehen. Das Budgetszenario mit 98 Mio. €<sup>8</sup> (=2,30 % des Erneuerungswerts ( $EW$ ) des Straßennetzes) zeigt ebenfalls einen Verlust des technischen Anlagenwerts über die Betrachtungsperiode. Dieser verläuft jedoch wesentlich langsamer als bei der Variante ohne Erhaltungsmaßnahmen.

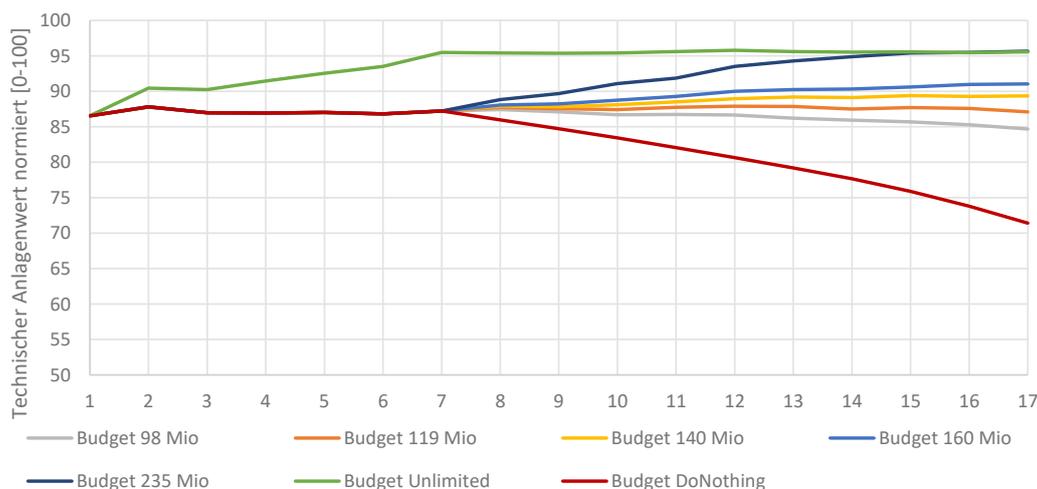
Stehen dem Straßenbetreiber in der Betrachtungsperiode im Anschluss an das Bauprogramm 119 Mio. €<sup>9</sup> bzw. 140 Mio. €<sup>10</sup> jährlich zur Verfügung, dann kann laut Prognose der sehr gute technische Anlagenwert ( $80 \leq TAW_{t,n} < 100$ ) beibehalten werden. Dies entspricht einer jährlichen Investitionssumme von 2,79 % bzw. 3,29 % des Erneuerungswerts im Sinne des  $TAniA$ -Projekts für das gesamte Straßennetz. Durch eine Erhöhung der Investitionsmenge auf 160 Mio. € pro Jahr<sup>10</sup> (=3,76 % des  $EW$ ) ist sogar eine Steigerung des Straßenzustands und somit eine Anhebung des technischen Anlagenwerts auf  $TAW_{t,n} \geq 90$  möglich. Grundsätzlich ist ersichtlich, dass der technische Anlagenwert für das Gesamtnetz des Straßenoberbaus bei den vier Budgetvarianten zwischen 98 Mio. €<sup>8</sup> und 160 Mio. €<sup>10</sup> pro Jahr relativ wenig voneinander abweichen. Ist das allgemeine Erhaltungsziel, den Netzzustand so gut wie möglich beizubehalten, dann kann auf Basis dieses Vergleichs darauf geschlossen werden, dass das jährliche Erhaltungsbudget bei einem zielgerichteten Mitteleinsatz ohne die Berücksichtigung von Bündelungseffekten innerhalb dieser Spannweite liegen sollte.

Das Budgetszenario mit einem jährlichen Investitionsvolumen von 235 Mio. €<sup>10</sup> (=5,51 % des  $EW$ ) im Anschluss an das bereits geplante Bauprogramm zeigt eine deutliche Wertsteigerung im Sinne des technischen Anlagenwerts. Bereits nach wenigen Jahren kann der Gesamtwert des Straßenoberbaus in den sehr hohen Bereich von über  $TAW_{t,n} > 90$  angehoben werden. Das Ziel, einen möglichst hohen Zustand und daraus abgeleitet einen höchstmöglichen technischen Anlagenwert zu erreichen, kann demnach nur mit einem wesentlich erhöhten Budget erreicht werden. Da bereits die Entwicklung mit der Budgetvariante von jährlich 160 Mio. € einen Anstieg

<sup>8</sup>70 % zielgerichtete Investitionen ohne Bündelungseffekte

<sup>9</sup>85 % zielgerichtete Investitionen ohne Bündelungseffekte

<sup>10</sup>100 % zielgerichtete Investitionen ohne Bündelungseffekte



**Abb. 6.18:** Gegenüberstellung des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum mit unterschiedlichen Budgetvarianten laut PMS

des technischen Anlagenwerts aufweist, ist davon auszugehen, dass bei einem zielgerichteten Investitionseinsatz jede Budgetvariante dazwischen ebenfalls zu einer Erhöhung führt.

Besonders auffällig ist der Verlauf des technischen Anlagenwerts im Falle eines unlimitierten Budgets. Innerhalb der ersten sieben Jahre der Betrachtungsperiode ist ein deutlicher Anstieg zu erkennen. In dieser Periode werden gemäß dem Budgetszenario des PMS durchschnittlich ca. 354,5 Mio. € pro Jahr für Erhaltungsmaßnahmen am Straßenoberbau investiert, was fast dem Doppelten des derzeit geplanten Bauprogramms mit ca. 181,0 Mio. € pro Jahr entspricht. Anschließend ist zu erkennen, dass der technische Anlagenwert selbst ohne budgetierte Beschränkungen bei etwa  $TAW_{t,n} = 95,5$  stagniert. Daraus kann geschlossen werden, dass der volle technische Anlagenwert für ein gewachsenes Gesamtnetz höchstwahrscheinlich nicht erreichbar ist und somit dieser Wert für den Straßenoberbau eine obere Grenze darstellt. Der jährliche Investitionsbedarf, um diesen sehr hohen technischen Anlagenwert halten zu können, beläuft sich laut dem Budgetszenario auf durchschnittlich 173,0 Mio. €, was 6,20 % des Gesamterneuerungswerts im Sinne des *TAniA*-Projekts entspricht.

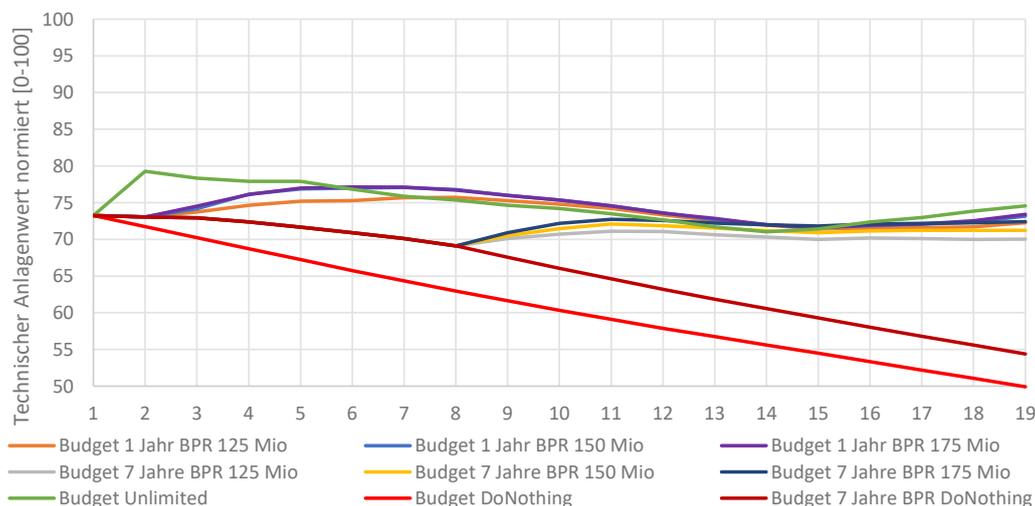
Aus den angeführten Budgetvarianten und dem Bezug der jährlichen Investitionen zum Gesamtwert des Straßenoberbaus im Sinne des technischen Anlagenwerts ist kein eindeutiger Zusammenhang erkennbar. Bei näherer Betrachtung der Ergebnisse ist jedoch ableitbar, dass die Höhe des jährlich benötigten Budgets für den Erhalt eines bestimmten technischen Anlagenwerts mit der Steigerung des Ausgangswerts wächst. Demzufolge ist eine wirtschaftliche und ingenieurmäßige Einschätzung für einen sinnvollen Zielwert im Sinne des technischen Anlagenwerts aus Sicht der Autorin zielführend und sollte in den kommenden Jahren weiter diskutiert werden.

### 6.2.2 Auswirkungen der Budgetvarianten des BMS

Das BMS der ASFINAG enthält für die Prognose der Zustandsentwicklung von Brücken insgesamt neun unterschiedliche Budgetvarianten. Davon berücksichtigen drei Varianten im ersten Analysejahr die Maßnahmen des vordefinierten Bauprogramms (BPR) und vier Szenarien die ersten sieben Jahre des BPR mit Startjahr 2020. Im Anschluss an das BPR werden die erforderlichen Erhaltungsmaßnahmen durch das BMS unter Einhaltung der Budgetgrenzen mit 100 % zielgerichtetem Mitteleinsatz ohne Bündelungseffekte optimiert. Die vordefinierten jährlichen Budgets umfassen die Szenarien

- Budget mit 1 Jahr BPR und 125 Mio. €,
- Budget mit 1 Jahr BPR und 150 Mio. €,
- Budget mit 1 Jahr BPR und 175 Mio. €,
- Budget mit 7 Jahren BPR und 125 Mio. €,
- Budget mit 7 Jahren BPR und 150 Mio. €,
- Budget mit 7 Jahren BPR und 175 Mio. € sowie
- Budget mit 7 Jahren BPR und „DoNothing“.

Zusätzlich ist noch ein Budgetszenario mit unlimitierten Investitionsmitteln und eines ohne Maßnahmen („DoNothing“-Variante) von Beginn der Betrachtungsperiode an vorhanden. Auf Basis der im BMS ermittelten Zustandsverläufe je Budgetvariante kann anschließend der Verlauf des technischen Anlagenwerts für das Gesamtnetz ermittelt werden. Abb. 6.19 fasst die prognostizierten Verläufe des normierten technischen Anlagenwerts aller neun Budgetszenarien zusammen. Dabei wird zur besseren Erkennbarkeit auf der Ordinate nur der Bereich des normierten technischen Anlagenwerts zwischen 50–100 angezeigt. Diese Grafik bietet die Möglichkeit, die Auswirkungen von unterschiedlichen Investitionssummen auf den technischen Anlagenwert qualitativ abzuschätzen. Zunächst ist anhand der Kurven sehr klar der Verlust des technischen Anlagenwerts bei beiden „DoNothing“-Varianten zu erkennen. Ohne Erhaltungsmaßnahmen verschlechtert sich der Anlagenzustand stetig. Aus dem Vergleich ist zudem ersichtlich, welche Auswirkungen das 7-jährige Bauprogramm mit einer durchschnittlichen Investitionssumme von rd. 60,5 Mio. € pro Jahr (=1,54 % des Gesamterneuerungswerts im Sinne des *TAniA*-Projekts) auf den Wert der Anlagen hat. Mit dem geplanten Budget in diesem Zeitraum ist es zwar nicht möglich, den Ausgangswert von  $TAW_{0,n} = 73,2$  aufrecht zu erhalten, es ist allerdings eine klare Verlangsamung der Degradation zu erkennen.



**Abb. 6.19:** Gegenüberstellung des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum mit unterschiedlichen Budgetvarianten laut BMS

Den Ausgangspunkt für einen Vergleich der Budgetvarianten nach dem geplanten Bauprogramm (BPR) 2020ff für die Brückenanlagen stellt ein normierter technischer Anlagenwert von  $TAW_{8,n} = 69,1$  dar. Die anschließenden Szenarien mit jährlich 125 Mio. €<sup>11</sup>, 150 Mio. €<sup>11</sup> oder 175 Mio. €<sup>11</sup>

<sup>11</sup>100 % zielgerichteter Mitteleinsatz ohne Bündelungseffekte

bewirken alle einen Wertzuwachs im Sinne des technischen Anlagenwerts und somit eine allgemeine Zustandsverbesserung der Brücken. Selbst mit dem niedrigsten Budget von 125 Mio. € pro Jahr (=3,18 % des *EW*) wäre laut der Prognose des BMS bei einem 100 %-ig zielgerichtetem Mitteleinsatz ohne Bündelungseffekte langfristig ein Erhalt des technischen Anlagenwerts von rd.  $TAW_{t,n} = 70$  möglich. Dies entspricht dennoch einer Steigerung von 206,65 %<sup>12</sup> gegenüber dem durchschnittlichen Budget innerhalb des Bauprogramms. Aus der Betrachtung des technischen Anlagenwerts nach einem Jahr des geplanten Bauprogramms mit den drei Budgetvarianten ist trotz des bereits höheren Ausgangswerts von  $TAW_{2,n} = 73,1$  ebenfalls ein Wertzuwachs bei den Brücken zu erkennen. Dabei ist besonders interessant, dass der Verlauf für die Budgetvariante mit 150 Mio. € pro Jahr (=3,81 % des *EW*) und jenem mit 175 Mio. € pro Jahr (=4,01 % des *EW*) annähernd gleich ist. Daraus kann geschlossen werden, dass eine Budgetsteigerung von 150 Mio. € auf 175 Mio. € eine geringere Auswirkung auf den technischen Anlagenwert besitzt als jene von 125 Mio. € auf 150 Mio. €.

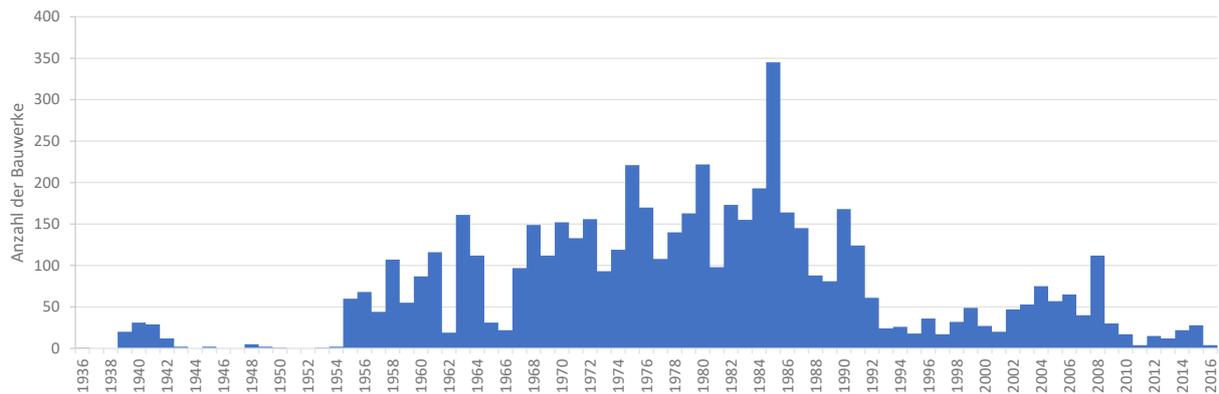
Wird die Zustandsprognose mit dem unlimitierten Budget analysiert, dann ist nach dem ersten Jahr ein sehr deutlicher Anstieg des technischen Anlagenwerts erkennbar. Dennoch kann dieser Zustand auch ohne Investitionslimits nicht beibehalten werden, wodurch es zu einem Absinken in den folgenden Jahren kommt. Dieser Verlauf beruht auf einer durchschnittlichen Budgetsumme von 213,2 Mio. € pro Jahr (=5,42 % des *EW*). Dabei sind die Investitionen im ersten Jahr mit 906,4 Mio. € besonders hervorzuheben, die weit über den sonstigen Budgetgrenzen liegen. Generell passt sich die Prognose ohne Beschränkung der Erhaltungsmaßnahmen ebenfalls an den Verlauf der sonstigen Budgetvarianten an. Demnach zeigt sich, dass ein übermäßiges Anheben des Investitionsbudgets bei 100 % zielgerichtetem Mitteleinsatz ohne die Berücksichtigung von Bündelungseffekten nicht zwangsläufig zu einem besseren Netzzustand im Sinne des technischen Anlagenwerts führt.

Allgemein ist anhand der prognostizierten Entwicklungen innerhalb der Betrachtungsperiode zu sehen, dass alle Varianten einen wellenförmigen Verlauf darstellen und im Bereich des hohen technischen Anlagenwerts ( $60 \leq TAW_{t,n} < 80$ ) liegen. Der Tiefpunkt ist bei allen Budgetszenarien, mit Ausnahme des Ausgangswerts nach 7 Jahren Bauprogramm, zwischen dem 14. und 15. Analysejahr zu finden, was gemäß den Einstellungen des Analysesets den Jahren 2033 und 2034 entspricht. Vergleicht man hierzu das Alter der österreichischen Brücken (siehe Abb. 6.20) und die pro Jahr gebaute Brückenfläche (siehe Abb. 6.21), dann ist zu sehen, dass die meisten Anlagen zwischen den Jahren 1967 und 1992 gebaut wurden. Demnach sind diese Brücken zum Zeitpunkt des tiefsten technischen Anlagenwerts zwischen 41 und 67 Jahre alt, weshalb ein grundsätzlicher Bedarf an umfangreichen Erhaltungsmaßnahmen nicht verwunderlich ist. Dieser Erhaltungsbedarf zeichnet sich auch bei der Verwendung von Standardlebenszyklen ab, welche ebenfalls auf den Erfahrungen von Brückenexperten aufbauen. Prinzipiell ist somit bei einer ungleichmäßigen Verteilung der Bauwerke auf die Baujahre aus dem Verlauf des technischen Anlagenwerts ein tendenzielles Durchschnittsalter der Brückenbauwerke ableitbar.

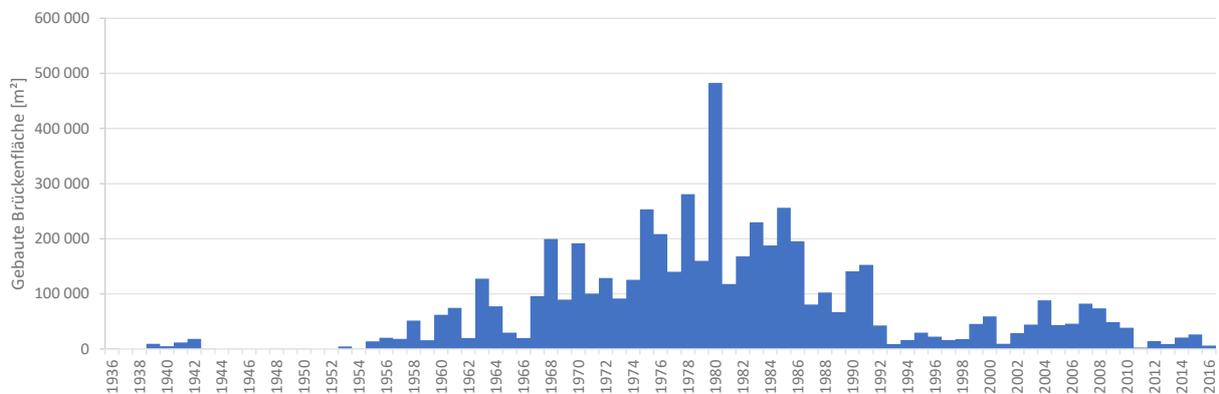
### 6.2.3 Zusammenführung der Budgetanalyse des Straßenoberbaus und der Brücken

Beim Vergleich der beiden getrennt voneinander durchgeführten Analysen der Budgetszenarien für den Straßenoberbau und Brückenbauwerke zeigt sich, dass die generelle Tendenz der Verläufe des technischen Anlagenwerts ziemlich unterschiedlich ausfällt. Im Bereich des Straßenoberbaus kann mittels einer Erhöhung der Investitionen ein oberer Grenzwert erreicht und gehalten werden. Bei den Brückenbauwerken zeichnet sich kein genereller Grenzwert innerhalb des Analysebereichs ab. Demnach besteht keine Grundlage für eine generelle Aussage eines möglichen Zielwerts

<sup>12</sup>  $\frac{1,54\%}{3,18\%} \cdot 100 = 206,65\%$



**Abb. 6.20:** Histogramm der Baujahre der Brücken des österreichischen Netzes gemäß BMS



**Abb. 6.21:** Histogramm der Brückenfläche des österreichischen Netzes gemäß BMS

für ein Gesamtnetz. Hierfür müssten weitere Netze hinsichtlich des technischen Anlagenwerts untersucht werden. Dabei ist darauf hinzuweisen, dass ein genereller Zielwert, zusätzlich zum reinen technischen Zustand der Anlagen, oftmals von den wirtschaftlichen und politischen Entscheidungen der Länder und Straßenverwaltungen abhängt.

Der technische Anlagenwert kann bei beiden Anlagenarten mit jeweils 3 Budgetszenarien auf einem annähernd gleichbleibenden Niveau gehalten werden. Dieses liegt beim Straßenoberbau bei  $TAW_{7,n} = 87,2$  und bei den Brücken bei  $TAW_{8,n} = 69,1$ . Tab. 6.1 zeigt die Prozentanteile des jährlichen Investitionsbudgets bezogen auf den Gesamterneuerungswert ( $EW$ ) im Sinne des  $TAniA$ -Projekts des jeweiligen Anlagentyps. Aus diesen Berechnungen kann abgeleitet werden, dass zum Erhalt des technischen Anlagenwerts durchschnittlich ca. 3,5 % des Erneuerungswerts investiert werden muss. Bei Berücksichtigung des unlimitierten Budgets des Straßenoberbaus, mit einer durchschnittlichen Investitionssumme von 173,0 Mio. € (=6,20 % des  $EW$ ) zeigt sich jedoch, dass hier ein wesentlich größerer Anteil reinvestiert werden muss. Demnach ist der abgeleitete Prozentsatz ohne weitere Analyse auf Basis anderer Netzdaten nur begrenzt aussagekräftig, kann jedoch als Anhaltspunkt für Budgetvergleiche, wie sie in den vorherigen Abschnitten gezeigt wurden, herangezogen werden.

**Tab. 6.1:** Anteil des jährlichen Investitionsbudgets am Erneuerungswert (*EW*)

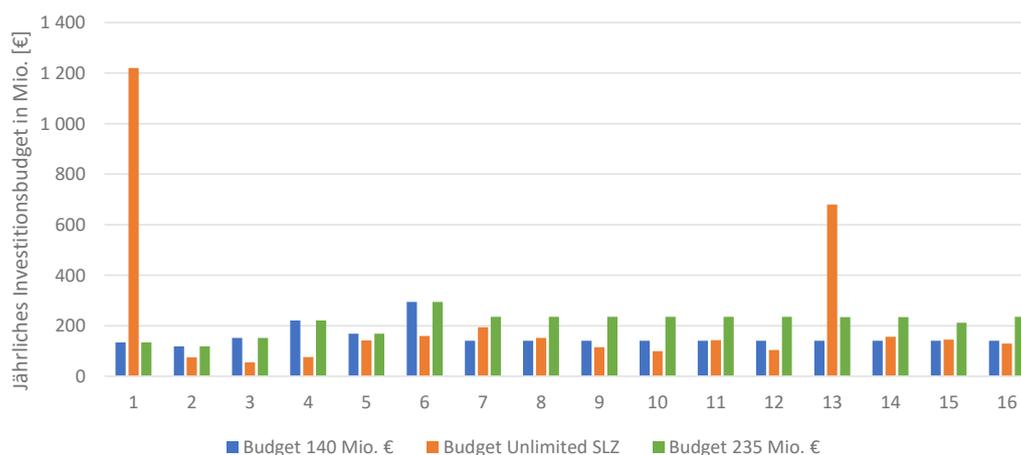
Anlagentyp	<i>EW</i>	Budget pro Jahr	Anteil an <i>EW</i>
Oberbau	4260,2 Mio. €	119 Mio. €	2,79 %
		140 Mio. €	3,29 %
		160 Mio. €	3,76 %
Brücken	3931,8 Mio. €	125 Mio. €	3,18 %
		150 Mio. €	3,81 %
		175 Mio. €	4,01 %
Mittelwert			3,47 %

### 6.3 Vergleich von Standardlebenszyklus und Prognosemodell aus dem PMS

In Abschnitt 3.3 dieser Arbeit wurden für die Berechnung des technischen Anlagenwerts drei Varianten der Zustandsprognose vorgestellt. Variante A berechnet den zukünftigen Zustandsverlauf anhand von Erhaltungsmanagementsystemen (PMS, BMS, TMS) und berücksichtigt somit die Auswirkungen von regionalen Besonderheiten auf die Degradation einzelner Bauteile. Im Gegensatz zu dieser genauen Betrachtung können auch Zustandsprognosen nach Variante C auf Basis von Standardlebenszyklen verwendet werden. Für diese Art der Prognose ist lediglich der aktuelle Zustand und dessen Zuordnung zu einem standardisierten Lebenszyklus erforderlich. Da noch nicht alle Länder eine vollumfängliche Datenbank ihrer Anlagen für den Aufbau eines geeigneten Erhaltungsmanagementsystems besitzen, ist für einen Vergleich auf Länderebene das Wissen über die angewendete Methode von Interesse. In diesem Abschnitt sollen die Ergebnisse der beiden Varianten anhand derselben Datenbasis des Straßenoberbaus näher analysiert werden. Die beiden anderen Datenbanken sind derzeit leider nicht für diesen Vergleich geeignet, da sie nicht beide Varianten berechnen können. In der Brückendatenbank fehlt hierfür die Zuordnung der Standardlebenszyklen zu den einzelnen Objekten, wobei diese durch Experten des Straßenerhalters vorzunehmen wären, und die Prognosen der Tunneldatenbank basieren ausschließlich auf Standardlebenszyklen.

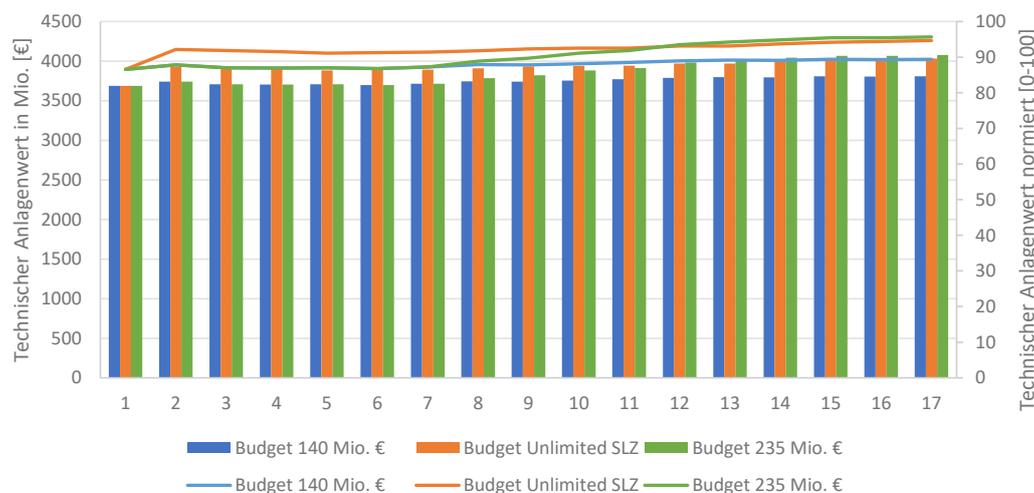
Für den Vergleich der beiden Varianten A und C anhand des Straßenoberbaus erfolgt zunächst die Gegenüberstellung der jeweils berücksichtigten Budgetszenarien, welche jeweils mit Ausnahme des Bauprogramms immer einen 100 %-igen Mitteleinsatz ohne Bündelungseffekte berücksichtigen. Abb. 6.22 zeigt die geplanten Investitionssummen pro Jahr der Variante mit Standardlebenszyklus (SLZ) und jener des standardmäßig angewendeten Budgets mit Bauprogramm (2022 ff) in den ersten sechs Jahren und anschließend 140 Mio.€ pro Jahr. Insgesamt ergibt sich aus der Prognose ein Gesamtinvestitionsvolumen von 2486 Mio.€ innerhalb der Betrachtungsperiode für das Standardbudget von 140 Mio.€, sowie 3642 Mio.€ für die SLZ. Dies entspricht einem erforderlichen Budgetplus von 46,5 %<sup>13</sup>. Für eine bessere Vergleichbarkeit des technischen Anlagenwerts wird an dieser Stelle zusätzlich das Budget mit 235 Mio.€ pro Jahr im Anschluss an das Bauprogramm und einem Gesamtinvestitionsvolumen von 3412 Mio.€ herangezogen. Dieses weist über die gesamte Betrachtungsperiode ein durchschnittliches Budget von 213 Mio.€ pro Jahr auf und liegt somit wesentlich näher an den jährlichen Investitionen von 228 Mio.€ des SLZ.

<sup>13</sup>  $\left( \frac{3641,9 \text{ Mio.€}}{2485,9 \text{ Mio.€}} - 1,0 \right) \cdot 100 = 46,5 \%$



**Abb. 6.22:** Gegenüberstellung des jährlichen Investitionsbudgets im Betrachtungszeitraum

Die Ergebnisse des technischen Anlagenwerts für den Straßenoberbau des gesamten Straßennetzes über die Betrachtungsperiode von 17 Jahren sind in Abb. 6.23 zusammengefasst. Daraus ist ersichtlich, dass der technische Anlagenwert des Standardlebenszyklus nach dem ersten Jahr einen wesentlichen Anstieg verzeichnet. Dies spiegelt den hohen Investitionsbedarf im ersten Jahr wider. Anschließend ist eine leichte Steigerung des technischen Anlagenwerts über die Betrachtungsperiode erkennbar. Diese verläuft mit einem durchschnittlichen Abstand von 4,5 annähernd parallel zum technischen Anlagenwert mit Budgetmitteln von 140 Mio.€ pro Jahr. Beim Vergleich des Standardlebenszyklus mit der Budgetvariante von 235 Mio.€ pro Jahr nach dem Bauprogramm, ist erkennbar, dass dieser am Ende der Betrachtungsperiode einen etwas höheren Wert liefert. Demnach kann mit einem gezielten Einsatz von annähernd gleich hohen Investitionssummen, ebenfalls ein sehr hoher technischer Anlagenwert erhalten werden. Generell zeigt der Vergleich der drei Varianten, dass die Berechnung mit Standardlebenszyklen eine etwas höhere Einschätzung des Netzzustands liefert und mehr Budgetmittel benötigt als normalerweise kalkuliert wird. Es stellt dennoch eine gute Alternative zur Abschätzung der Netzentwicklung dar, wenn keine Degradationskurven des Straßenbetreibers vorhanden sind und das geplante Budget mindestens die Hälfte des Budgets laut Standardlebenszyklus ist.



**Abb. 6.23:** Gegenüberstellung des monetären und normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum

Mit Hilfe des Effektivitätsdiagramms gemäß Abschnitt 3.6 können die einzelnen Varianten auf ihre Wirtschaftlichkeit untersucht werden (siehe Abb. 6.24). Der Vergleich zwischen dem Budget mit 140 Mio.€ pro Jahr (Abb. 6.24a) und dem Standardlebenszyklus (Abb. 6.24b) zeigt, dass durch die Budgetvorgaben wesentlich mehr Straßenabschnitte auf der Abszisse zu liegen kommen und somit keine Erhaltungsmaßnahmen während der Betrachtungsperiode geplant sind. Durch die Anwendung von Standardlebenszyklen sind regelmäßige Maßnahmen vorhanden, die wesentlich mehr Abschnitte betreffen. Die generelle Streuung der Punktwolke bei der Berücksichtigung der Standardlebenszyklen zwischen der Effektivitätsgeraden (=obere Grenze) und der Ordinate weist jedoch darauf hin, dass diese Variante weniger wirtschaftlich ist im Sinne des technischen Anlagenwerts. Der Vergleich mit der Budgetvariante von 235 Mio.€ pro Jahr (Abb. 6.24c) zeigt auch im Effektivitätsdiagramm eine wesentlich höhere Dichte entlang der Effektivitätsgeraden und weniger Abschnitte auf der Abszisse. Auf Basis dieser Verteilung ist ableitbar, dass die gezielte Planung von Erhaltungsmaßnahmen bei einem annähernd gleichen Budget wirtschaftlicher ist, als die Planung nach Standardlebenszyklen.

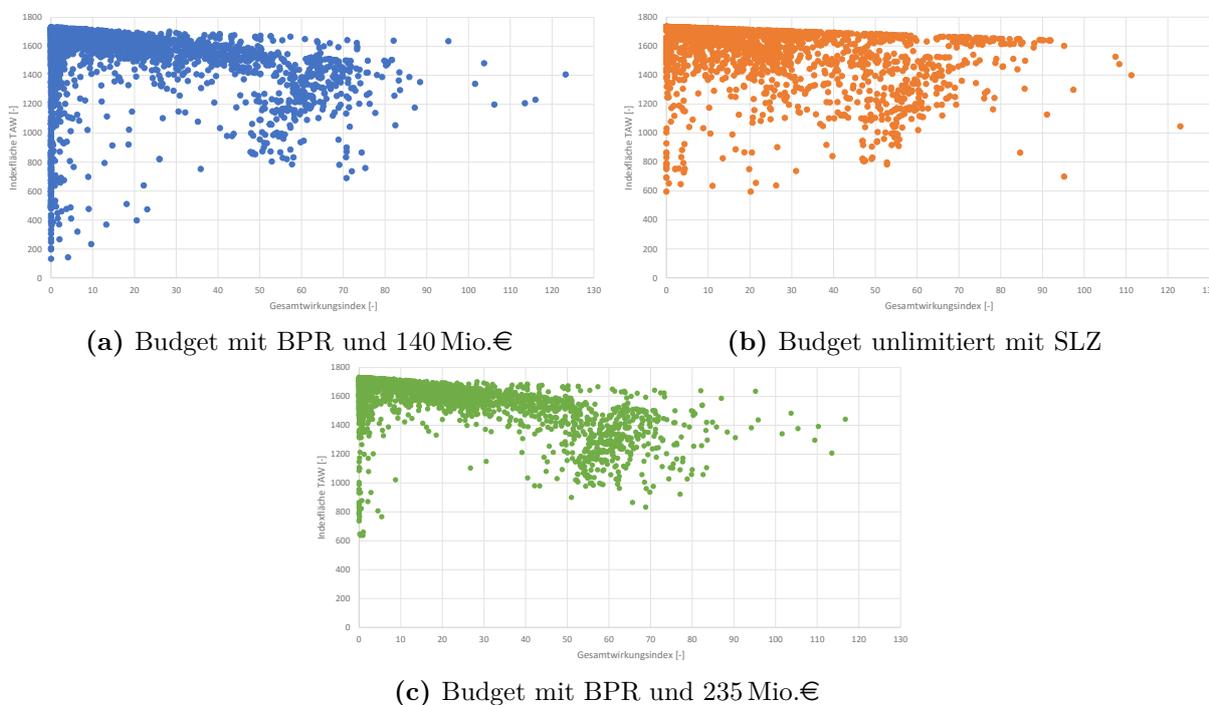


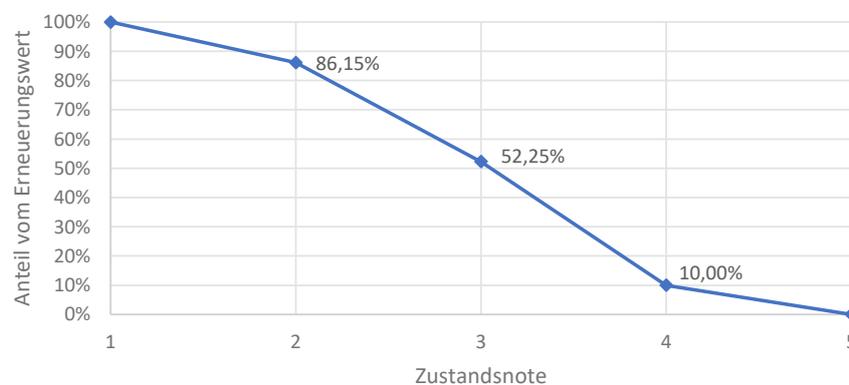
Abb. 6.24: Effektivitätsdiagramme der unterschiedlichen Budgetvarianten

## 6.4 Vergleich der Berechnungsvariante mit Gesamtnoten

Im Zuge der Datenanalyse für das Forschungsprojekt *TAniA* hat sich gezeigt, dass die Genauigkeit der erfassten und gesammelten Zustandsdaten in den DACH-Ländern unterschiedlich ist. Während in den Datenbanken des österreichischen Straßenerhalters für Autobahnen und Schnellstraßen die Zustandsbewertungen auf Bauteilebene erfasst und gesammelt werden, sind für manche Bauwerkstypen in anderen Ländern nur Bauwerksnoten vorhanden. Im Sinne der Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Ländern erfolgt in diesem Abschnitt eine Gegenüberstellung der Berechnung des technischen Anlagenwerts auf Basis der Bauwerksnoten und anhand der einzelnen Bauteilnoten. Hierfür wird aufgrund der Berechnungsmethodik in den ASFINAG-Datenbanken und den bereits bekannten Datengrundlagen der anderen deutschsprachigen Länder

der Bauwerkstyp Brücken herangezogen. Dieser bietet neben der Zustandsprognose auf Basis der Bauteile mit einer anschließenden Ermittlung der Bauwerksnote zusätzlich die Berücksichtigung unterschiedlicher Budgetszenarien.

Um eine Berechnung auf Basis von Gesamtnoten für das Bauwerk durchführen zu können, ist zunächst der qualitative Verlauf des Zusammenhangs zwischen dem technischen Anlagenwert und dem Zustand sowie der dazugehörige Einheitspreis erforderlich. Im Sinne der Vergleichbarkeit wurde bereits im Forschungsprojekt *TAniA* für die Auswertung der Teststrecke in Deutschland ein qualitativer Zusammenhang für die Bauwerksnoten vorgeschlagen. Dieser beruht auf dem Zusammenhang zwischen den Zustandsnoten und dem Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert der einzelnen Bauteile und stellt einen gemittelten Verlauf über diese dar. Die daraus ermittelten Prozentwerte je Zustandsnote sind in der grafischen Darstellung des qualitativen Verlaufs (siehe Abb. 6.25) ersichtlich.

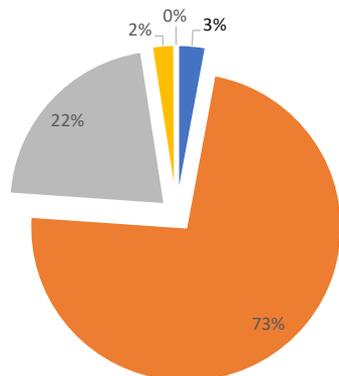


**Abb. 6.25:** Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für die Gesamtnote bei Brücken (modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 200])

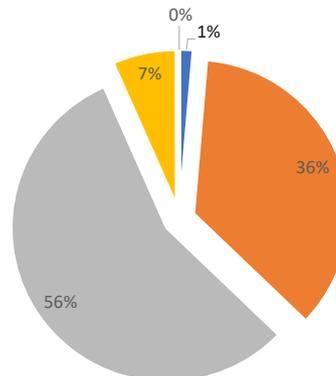
Der Zusammenhang zwischen den Bauwerksnoten wird über eine lineare Interpolation abgebildet (siehe Abschnitt 3.4.3). Beim Vergleich des Zusammenhangs von Zustand und dem Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert für das Gesamtbauwerk mit den Verläufen der einzelnen Anlagenteile ist das Zusammenspiel zwischen den Bauteilen der Ausrüstung und der Konstruktion zu erkennen. Bis zu einer Gesamtnote von 2 ist grundsätzlich mit kleineren Instandsetzungsmaßnahmen am Gesamtbauwerk zu rechnen. Der anschließend dargestellte, größere Wertverlust spiegelt die notwendigen Erneuerungsmaßnahmen an den Ausrüstungsteilen wider, welcher im Bereich zwischen den Zustandsnoten 2 und 3 insbesondere durch die Fahrbahnübergangskonstruktion und danach durch die Randbalken, Lager, Abdichtung, Entwässerung und sonstige Ausrüstung bedingt ist.

Im nächsten Schritt erfolgt für die Implementierung der Berechnung des technischen Anlagenwerts und Erneuerungswerts auf Basis der Gesamtnote von Brücken die Bestimmung des Einheitspreises. Unter Bezugnahme auf die Kostenkennwerte der ASFINAG [5] mit Preisbasis 2018 ergibt sich je nach Bauart der Brücke eine Preisspanne von 1090–3100 €/m<sup>2</sup>. Da der Anteil der Stahlbetonbrücken gemäß *Statistik Straße und Verkehr* [7] im Jahr 2020 mit 4258 von insgesamt 5817 Brücken überwiegt, jedoch der Flächenanteil der Spannbetonbrücken mit rd. 3,27 Mio. m<sup>2</sup> von insgesamt rd. 5,81 Mio. m<sup>2</sup> im Netz der ASFINAG am größten ist (siehe Abb. 6.26), wurde der Einheitspreis für alle Brücken innerhalb der gemeinsamen Preisspanne für diese Bauarten mit 1200 €/m<sup>2</sup> gewählt. Dieser Wert liegt im oberen Bereich der Preisspanne der Stahlbetonbrücken und unteren Bereich der Spannbetonbrücken gemäß den Baukennzahlen [5] mit Preisbasis 2018. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Wahl des Einheitspreises bei der Berechnung des normierten technischen Anlagenwerts schlussendlich aufhebt und eine höhere

Bauart	Fläche	Anzahl
Stahl	77 762 m <sup>2</sup>	169 Stk
Stahlbeton	2 084 765 m <sup>2</sup>	4258 Stk
Spannbeton	3 267 172 m <sup>2</sup>	1249 Stk
Kombi (Verbundbauweise)	383 431 m <sup>2</sup>	137 Stk
Sonstige	1042 m <sup>2</sup>	4 Stk



(a) Verteilung nach Anzahl



(b) Verteilung nach Fläche

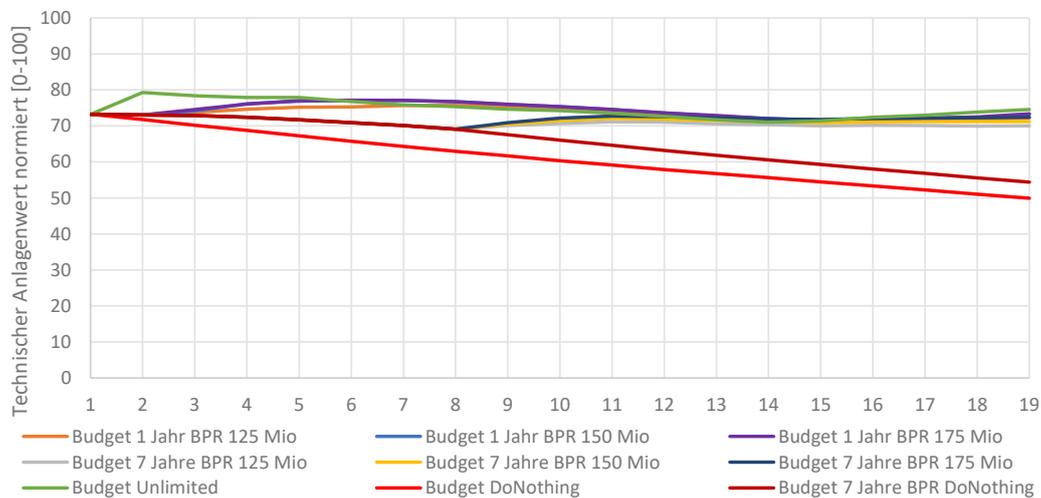
**Abb. 6.26:** Verteilung der Brückentragwerke je Bauart des ASFINAG-Netzes 2020 (gemäß *Statistik Straße und Verkehr* [7])

Annahme des Preises pro Quadratmeter keine wesentliche Rolle spielt. Dennoch sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass durch diese Annahme auf Grundlage von Neubaukennzahlen ein wesentlich höherer Erneuerungswert für die Brücken des Gesamtnetzes von 6805 Mio. € gegenüber der Betrachtung auf Basis von Bauteilnoten mit Kennwerten für intensive Erhaltungsmaßnahmen mit 3932 Mio. € entsteht. Dadurch würden die Brücken bei der Bewertung des Gesamtnetzes – mittels Zusammenführung von Straßenoberbau, Brücken und Tunnel über die Erneuerungswerte – wesentlich stärker durchschlagen. Wenn davon ausgegangen wird, dass die Berechnung des Erneuerungswerts mittels Ausmaß und Kostendaten der Bauteile genauer ist, kann der Gesamterneuerungswert als Ausgangsbasis herangezogen werden. Durch Division des Erneuerungswerts durch die Gesamtfläche der Brückenbauwerke ergäbe sich somit ein Kostenkennwert von 693,30 €/m<sup>2</sup>.<sup>14</sup> Dieser liegt jedoch weit unter den angeführten empfohlenen Preisspannen der Baukennzahlen für den Neubau der ASFINAG [5] und weit über jenem für die Generalerneuerung, weshalb dieser Ansatz in weiterer Folge nicht berücksichtigt wird.

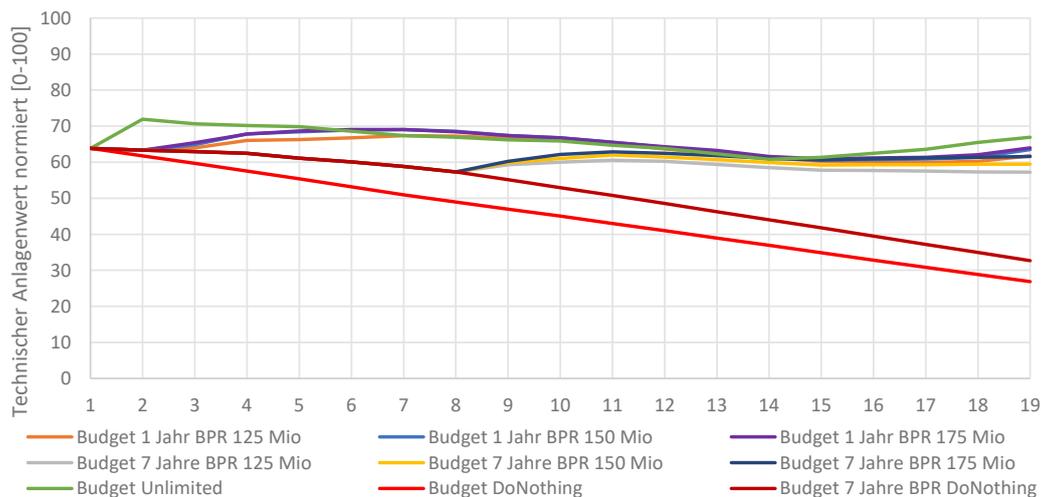
Im Anschluss an die Berechnung des Erneuerungswerts und technischen Anlagenwerts über die Brückendatenbank erfolgt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse beider Berechnungsmethoden. Abb. 6.27 zeigt die Prognosen des normierten technischen Anlagenwerts je Budgetszenario einerseits auf Basis der Bauteilnoten und andererseits anhand der Bauwerksnoten. Aus den beiden Grafiken ist zunächst der unterschiedlich hohe Ausgangswert zu erkennen. Dies zeigt, dass durch die Ermittlung mit Gesamtnoten grundsätzlich ein schlechterer technischer Anlagenwert erhalten wird als bei der Berechnung mit Bauteilnoten. Demnach kann durch eine detailliertere Bewertung der einzelnen Anlagenteile sogar eine Verbesserung des technischen Anlagenwerts für das Gesamtnetz erzielt werden, was auf die genauere Einschätzung der Auswirkung von schlechter erhaltenen Anlagenteilen und gezielte Maßnahmen zum Erhalt dieser zurückgeführt werden kann. Generell ist außerdem ersichtlich, dass die Prognosen des technischen Anlagenwerts

<sup>14</sup>  $\left[ \frac{3931,78 \text{ Mio. €}}{5\,671\,093 \text{ m}^2} \right] = 693,30 \text{ €/m}^2$

aller Budgetszenarien annähernd gleich verlaufen. Daraus ist ableitbar, dass der qualitative Zusammenhang von Zustand und dem Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert für das Gesamtbauwerk Brücke aus dem Forschungsprojekt *TAniA* eine gute Näherung für die Zusammenfassung der Bauteile darstellt.



(a) Berechnung des technischen Anlagenwerts auf Basis der Bauteilnoten



(b) Berechnung der technischen Anlagenwerts auf Basis der Bauwerksnoten

**Abb. 6.27:** Normierter technischer Anlagenwert für alle Brücken des ASFINAG-Netzes je Budgetszenario

Die Differenz zwischen dem technischen Anlagenwert auf Grundlage der einzelnen Anlagenteile und jenem aus der Bauwerksnote ist in Tab. 6.2 für jedes Budgetszenario zusammengefasst. Daraus ist zu erkennen, dass sich im Durchschnitt eine Abweichung von 8,66–15,74 für die einzelnen Szenarien ergibt. Der Mittelwert über alle Analysejahre und Budgetszenarien zeigt, dass bei einer Berechnung des normierten technischen Anlagenwerts mit Bauwerksnoten durchschnittlich um 11,06 niedrigere Ergebnisse für Brücken ermittelt werden.

**Tab. 6.2:** Abweichung des normierten technischen Anlagenwerts zwischen der Berechnung mit Bauteilnoten und Bauwerksnoten im Betrachtungszeitraum

Budgetszenario	Analysejahr									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 J. BPR 125 Mio. €	9,39	9,69	9,74	8,61	8,88	8,51	8,33	8,50	8,64	8,68
1 J. BPR 150 Mio. €	9,39	9,69	9,32	8,27	8,47	8,06	8,02	8,19	8,59	8,58
1 J. BPR 175 Mio. €	9,39	9,69	9,12	8,28	8,33	8,06	8,09	8,32	8,60	8,57
7 J. BPR 125 Mio. €	9,39	9,69	9,98	9,92	10,54	10,85	11,26	11,80	10,85	10,68
7 J. BPR 150 Mio. €	9,39	9,69	9,98	9,92	10,54	10,85	11,26	11,80	10,65	10,41
7 J. BPR 175 Mio. €	9,39	9,69	9,98	9,92	10,54	10,85	11,26	11,80	10,63	10,05
7 J. BPR DoNothing	9,39	9,69	9,98	9,92	10,54	10,85	11,26	11,80	12,45	13,12
DoNothing	9,39	9,96	10,53	11,16	11,83	12,58	13,37	14,05	14,67	15,33
Unlimited	9,39	7,35	7,70	7,71	8,01	8,19	8,44	8,41	8,47	8,33

Budgetszenario	Analysejahr									Mittelwert
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
1 J. BPR 125 Mio. €	9,07	9,68	10,05	10,70	11,15	11,44	11,64	11,45	10,53	9,72
1 J. BPR 150 Mio. €	9,00	9,48	10,02	10,56	10,98	11,17	11,19	10,97	9,69	9,46
1 J. BPR 175 Mio. €	9,04	9,33	9,61	10,35	10,66	10,77	10,80	10,49	9,41	9,31
7 J. BPR 125 Mio. €	10,58	10,81	11,25	11,81	12,24	12,47	12,61	12,64	12,77	11,17
7 J. BPR 150 Mio. €	10,07	10,44	10,84	11,28	11,74	11,90	11,92	11,78	11,79	10,86
7 J. BPR 175 Mio. €	9,82	10,14	10,41	10,91	11,15	11,13	11,02	10,90	10,85	10,55
7 J. BPR DoNothing	13,86	14,67	15,57	16,52	17,51	18,53	19,59	20,63	21,70	14,08
DoNothing	16,08	16,90	17,78	18,69	19,61	20,50	21,40	22,23	23,04	15,74
Unlimited	8,80	8,80	9,40	10,21	10,02	9,90	9,40	8,32	7,65	8,66

## 6.5 Zusammenfassung der Analyse des technischen Anlagenwerts am Beispiel des ASFINAG-Netzes

Die Entwicklung des technischen Anlagenwerts für den Infrastrukturbau soll zukünftig einerseits einen wesentlichen Entscheidungsparameter für die strategische Erhaltungsplanung liefern und andererseits eine Vergleichbarkeit zwischen den Ländern und Straßenverwaltungen ermöglichen. Zur Erreichung dieser Ziele, ist das Wissen über die möglichen Analysen auf Basis des Berechnungsmodells und die Auswirkungen von geänderten Eingangsgrößen wesentlich. Dieses Kapitel befasst sich daher eingehend mit diesen Themen anhand der Auswertungen aus dem ASFINAG-Datenmanagementsystem.

Der erste Abschnitt zeigt die Ergebnisse des technischen Anlagenwerts und die daraus ableitbaren Erkenntnisse für die Straßenverwaltung auf den unterschiedlichen Anwendungsebenen. Diese umfassen gemäß Definition in Abschnitt 3.2.1 mit zunehmender Detaillierung die Netzebene, Abschnitts- bzw. Streckenebene, Anlagenebene, Funktionsebene und Bauteilebene. Mit Hilfe unterschiedlicher Darstellungen hat sich gezeigt, dass auf Netzebene in erster Linie eine gesamtheitliche Einschätzung der Entwicklung des technischen Anlagenwerts für das Gesamtnetz möglich ist. Dadurch kann die Effizienz der eingesetzten Mittel zur Einhaltung der Erhaltungsziele grob abgeschätzt werden. Des Weiteren ist der Einfluss der einzelnen Anlagenarten oder der Bauteile der Konstruktion und Ausrüstung auf den Gesamtwert des Netzes ersichtlich. Durch Betrachtungen auf der Abschnitts- bzw. Streckenebene sind in weiterer Folge die Erhaltungsziele für vordefinierte Bereiche überprüfbar. Dies kann beispielsweise in Zusammenhang mit wichtigen Maut-Korridoren oder Strecken des transeuropäischen Verkehrsnetzes mit besonderen

Bestimmungen sinnvoll sein. Für eine detailliertere Untersuchung der Erhaltungsmaßnahmen an einzelnen Objekten, steht die Anlagenebene zur Verfügung. Diese erlaubt Rückschlüsse über den Umfang und Auswirkungen von geplanten Maßnahmen im Sinn des technischen Anlagenwerts zu ziehen. Mittels der Funktionsebene ist zusätzlich analysierbar, wie groß der Anteil der konstruktiven Bauteile bzw. Ausrüstungsteile am technischen Anlagenwerts ist und sich die geplanten Maßnahmen auf diese auswirken. Beispielsweise kann die Konstruktion eines Objekts in einem sehr guten Zustand, aber dennoch der technische Anlagenwert gering sein, wenn dieses einen sehr großen Anteil an Ausrüstungsteilen in schlechtem Zustand besitzt. Noch genauer können solche Aussagen unter Bezug auf die Bauteilebene getroffen werden. Dies hilft bei einer gezielten Planung von Erhaltungsmaßnahmen und bewirkt somit einen wirtschaftlichen Mittel- und Ressourceneinsatz.

Der zweite Teil des Kapitels beschäftigt sich mit der Gegenüberstellung des technischen Anlagenwerts mit den unterschiedlichen Investitionsbudgets für den Straßenoberbau und Brücken. Die Analyse befasst sich dabei zunächst mit den Anlagenarten getrennt voneinander. Dabei ist anhand der Ergebnisse des technischen Anlagenwerts für den Straßenoberbau innerhalb der Betrachtungsperiode eine Spannweite für die notwendigen Reinvestitionen zum Erhalt des Anfangswerts ableitbar. Zusätzlich hat sich durch die Betrachtung eines unlimitierten Budgets herauskristallisiert, dass es eine Obergrenze des erreichbaren technischen Anlagenwerts bei ca.  $TAW_{t,n} = 95,5$  für das Gesamtnetz gibt. Aus dem Zusammenhang zwischen dem jährlichen Investitionsbudget und der dadurch bedingten Änderung des technischen Anlagenwerts konnten allerdings keinerlei eindeutige Aussagen abgeleitet werden. Aus den Brückendaten kann ebenfalls eine Spannweite des notwendigen Investitionsbudgets zum Erhalt des technischen Anlagenwerts abgeleitet werden. Es ist jedoch kein maximal erreichbarer Wert bei Anwendung der vorhandenen Budgetszenarien im Sinne eines gleichbleibenden Wertplateaus erkennbar. Durch den Vergleich der Erkenntnisse aus dem Straßenoberbau und den Brücken ist an dieser Stelle kein allgemein gültiger Grenzwert ermittelbar. Hierfür sind Analysen mit weiteren Verkehrswegenetzen durchzuführen. Die Untersuchungen haben allerdings gezeigt, dass für einen Budgetvergleich unterschiedliche Budgetszenarien durchgerechnet werden können. Als Ausgangswert zur Bestimmung relevanter Szenarien empfiehlt sich die Berechnung der jährlichen Investitionssumme mit etwa 3,5 % des Gesamterneuerungswerts. Genauere Einschätzungen bedürfen weiterer Analysen.

Die Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell des technischen Anlagenwerts können eine unterschiedliche Qualität und Quantität aufweisen. Aus diesem Grund beschäftigt sich das vorliegende Kapitel im nächsten Schritt mit der Auswirkung der Zustandsprognosemodelle auf den technischen Anlagenwert. Hierfür wird insbesondere der Straßenoberbau herangezogen, weil dieser bereits eine Zuordnung der Standardlebenszyklen zu Straßenabschnitten innerhalb des PMS enthält. Die Untersuchungen umfassen den Vergleich des technischen Anlagenwerts unter Verwendung von Variante A – Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen und Variante C – Standardlebenszyklen. Aus den Ergebnissen konnte abgeleitet werden, dass ein gezielter Mitteleinsatz mit gleichmäßig verteilten Investitionen zwar zu einem langsameren Anstieg des technischen Anlagenwerts führt, dieser schlussendlich allerdings ähnlich hohe Ergebnisse erzielt wie die Anwendung von Standardlebenszyklen. Dies bedarf jedoch einer sehr hohen jährlichen Investitionssumme, gegenüber den normalerweise zur Verfügung stehenden Mitteln. Die generelle Tendenz des technischen Anlagenwerts innerhalb der Betrachtungsperiode kann mittels Variante C gut abgeschätzt werden. Es ergibt sich daraus, dass für einen Vergleich zwischen Ländern und unterschiedlichen Straßenverwaltungen stets das gewählte Zustandsprognosemodell und das Budget (zumindest über den prozentualen Anteil bezogen auf den Erneuerungswert) angeführt werden sollte. Zusätzlich zeigt dieser Abschnitt der Arbeit die wirtschaftliche Beurteilung der Budgetvarianten anhand der Effektivitätsdiagramme. Der gezielte Einsatz von Budgetmitteln

liefert eine höhere Dichte entlang der Effektivitätsgeraden und bildet somit die wirtschaftlichere Lösung ab.

Den Abschluss des Kapitels stellt der Vergleich zwischen dem berechneten technischen Anlagenwert auf Grundlage von einerseits Bauwerksnoten und andererseits Bauteilnoten dar. Dies hat ebenfalls zum Ziel, die Vergleichbarkeit zwischen Ländern mit unterschiedlicher Datenqualität sicherzustellen. Anhand der angeführten Ergebnisse beider Berechnungsvarianten hat sich gezeigt, dass auf Basis von Gesamtbauwerksnoten tendenziell ein niedrigerer technischer Anlagenwert erhalten wird. Dies kann auf die Auswirkung einzelner Bauteilnoten auf die Gesamtnote zurückgeführt werden. Dabei schlagen einzelne Bauteile in einem schlechten Zustand stärker auf den Gesamtzustand durch und somit in weiterer Folge auf den technischen Anlagenwert. Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass die Verwendung von Gesamtnoten eine gute Basis für die Abschätzung der tendenziellen Entwicklung des technischen Anlagenwerts liefert. Eine detailliertere Zustandserfassung und -prognose ist zukünftig dennoch auf jeden Fall zielführend. Im abschließenden Kapitel der vorliegenden Dissertation erfolgt die Zusammenfassung der wissenschaftlichen Arbeit. Zusätzlich werden die am Anfang definierten Forschungsfragen ausführlich beantwortet und ein Ausblick auf den weiteren Forschungsbedarf sowie zukünftige Entwicklungspotenziale im Bereich des technischen Anlagenwerts gegeben.



# Kapitel 7

## Conclusio

Diese abschließende Conclusio bildet eine umfassende Zusammenfassung der einzelnen Forschungsschritte und Ergebnisse dieser wissenschaftlichen Arbeit. Im Anschluss werden die zu Beginn dieser Dissertation definierten Forschungsfragen ausführlich beantwortet. Den Abschluss bildet der Ausblick auf den zukünftigen Forschungs- und Entwicklungsbedarf, der sich aus den bisherigen Erkenntnissen über den technischen Anlagenwert ableiten lässt.

### 7.1 Zusammenfassung

Dieser Abschnitt stellt eine überblicksmäßige Zusammenfassung der einzelnen Abschnitte der vorliegenden wissenschaftlichen Arbeit dar. Den Anfang bildet eine umfangreiche Literatur- und Normenstudie zu den Themen Erfassung und Bewertung von Zustandsdaten in Österreich und die Erläuterung der finanzmathematischen Grundlagen für Lebenszyklusbetrachtungen. Aus den gewonnen Erkenntnissen lässt sich einerseits das derzeitige Problem einer nicht standardisierten Zustandsermittlung für die Anlagenarten Straßenoberbau, Brücke, Tunnel baulich sowie elektrotechnische und maschinelle Tunnelausrüstung erkennen und andererseits zeigen sie die möglichen Daten auf, welche für die Auswahl von Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell zur Verfügung stehen. Diese fließen in die wesentlichen Definitionen, die Entwicklung des holistischen Bewertungsrahmens und die Mindestanforderungen der Eingangsgrößen in weiterer Folge mit ein.

Den Kernbereich dieser Arbeit stellt die Modellierung eines Berechnungsmodells zur Bestimmung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwerts dar. Dieses baut auf der Definition der wesentlichen Begriffe, des Bewertungsrahmens inkl. Anwendungsebenen und der Mindestanforderungen an die notwendigen Eingangsgrößen auf. Zur Sicherstellung der Anwendbarkeit bei unterschiedlicher Datenqualität und -quantität wurden zusätzlich unterschiedliche Varianten für Zustandsprognosen im Infrastrukturbau ausgearbeitet. Aufbauend auf diesen Grundlagen erfolgt die Erläuterung des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert und die Beschreibung der Berechnungsschritte mittels Ablaufdiagramm (Abb. 3.12). Das Kernstück bildet dabei die Zusammenführung von Zustand und technischem Anlagenwert anhand der Datenanalyse der Straßenverwaltungen und dem ermittelten Erneuerungswert. Dieser qualitative Zusammenhang wurde im nächsten Schritt mathematisch ausformuliert, wodurch die Grundlage für die Implementierung in ein bestehendes Erhaltungsmanagementsystem gegeben ist. Den Abschluss bildet die Beschreibung der möglichen Anwendung des technischen Anlagenwerts in Sinne einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung unter Verwendung eines Effektivitätsdiagramms.

Zum besseren allgemeinen Verständnis der nachfolgenden Beschreibung der Implementierung erfolgt zunächst eine Einführung in die Softwarelösung dTIMS, welche aktuell von der ASFINAG für das Erhaltungsmanagement des Straßenoberbaus verwendet wird. Diese umfasst im Wesentlichen die grundlegenden Bestandteile der Datenbanken, gefolgt von den möglichen Varianten der Datenverarbeitung in Form von Database Expressions, Dataviews, Data Transformations und Queries für die Bearbeitung, Modifizierung und Visualisierung der Datensätze. Den in weiterer Folge wesentlichsten Bestandteil stellen die Analysen (*Analysis*) dar, welche mittels

Kosten-Nutzen-Optimierungen auf Projekt- oder Netzebene die wirtschaftlichste Erhaltungsstrategie ermittelt. Abschnitt 4.3 beschreibt die einzelnen Bestandteile zur Erstellung einer Analyse und erläutert deren Zusammenhänge. Abschließend werden die unterschiedlichen Möglichkeiten für die Darstellung der erhaltenen Ergebnisse kurz erläutert. Aufbauend auf dem vermittelten Grundverständnis für die Arbeitsweise mit dem Management-System dTIMS kann im nächsten Schritt auf die Analyse der Bestandsdatenbanken und die anschließende Implementierung des technischen Anlagenwerts eingegangen werden.

In Kapitel 5 wird die zusätzliche Implementierung des Berechnungsmodells für den technischen Anlagenwert beschrieben. Die Untersuchung der zur Verfügung gestellten Daten des österreichischen Straßennetzes im PMS, BMS und TMS hinsichtlich den erforderlichen Eingangsgrößen stellt den ersten Schritt dar. Sie liefert die notwendigen Ergänzungen für das Berechnungsmodell, welche anschließend beschrieben sind. Diese umfassen den Einbau zusätzlicher Attribute in den Master-Tabellen, **Analysis Expressions** und **Analysis Variables**. Anschließend erfolgt die Integration der Analysevariablen für den technischen Anlagenwert im bestehenden Analyseset der Zustandsprognose und die Zusammenführung der Ergebnisse mittels Excel-Tabellen für eine gesamtheitliche Netzbetrachtung. Den Abschluss bildet ein kurzer Überblick über die Ergebnisse des technischen Anlagenwerts auf Netzebene des höherrangigen Straßennetzes in Österreich. Eine genauere Analyse erfolgt im nachfolgenden Kapitel der Dissertation.

Zum Abschluss liefert Kapitel 6 anhand einer Datenanalyse wichtige Erkenntnisse für die zukünftige Anwendung des technischen Anlagenwerts als wesentlichen Entscheidungsparameter für die strategische Erhaltungsplanung und als Vergleichsbasis zwischen Ländern und Straßenverwaltungen. Unter Bezugnahme auf die unterschiedlichen Anwendungsebenen können einerseits gesamtheitliche Betrachtungen und somit die Einhaltung von Erhaltungszielen für das Gesamtnetz und andererseits Detailbetrachtungen zur Planung von Erhaltungsmaßnahmen für bestimmte Anlagenteile vorgenommen werden. Zudem zeigen die Berechnungen die Möglichkeiten von Clusterungen für die Untersuchung einzelner Abschnitte auf Erfüllung festgelegter Ziele, wie beispielsweise die Bestandteile des transeuropäischen Verkehrswegenetzes hinsichtlich deren Betriebssicherheit. Die Anwendung der Funktions- und Bauteilebene erlaubt Einzelbetrachtungen zur Ermittlung der Auswirkung und Steuerung von Maßnahmen. Zum Beispiel kann durch den gezielten Tausch eines Anlagenteils mit sehr schlechtem Zustand, der Gesamtwert deutlich gehoben werden, wenn sich die restlichen Bauteile in einem guten Zustand befinden. Dies unterstützt bei einer wirtschaftlichen Mittel- und Ressourcenplanung. Einen weiteren Teil der Auswertungen stellt die Gegenüberstellung des technischen Anlagenwerts mit den unterschiedlichen Investitionsbudgets dar. Anhand des Vergleichs verschiedener Investitionssummen ist der zukünftig erforderliche Mitteleinsatz entsprechend den Erhaltungszielen eines gleichbleibenden Anlagenwerts oder einer Wertsteigerung ableitbar. Es hat sich allerdings gezeigt, dass dieser Zusammenhang im Allgemeinen nicht rechnerisch abgebildet werden kann. Eine jährliche Investitionssumme von etwa 3,5 % des Gesamterneuerungswerts erwies sich jedoch als gute Ausgangsbasis für Variantenstudien mit unterschiedlichen Budgetgrößen.

Die weiteren durchgeführten Untersuchungen beschäftigen sich mit der unterschiedlichen Qualität und Quantität der Eingangsgrößen für das Berechnungsmodell des technischen Anlagenwerts. Hierbei wurden die Berechnungen anhand der Zustandsprognosevarianten mit Standardlebenszyklen und Lebenszyklen aus Erhaltungsmanagementsystemen sowie auf Basis von Bauteilnoten und Bauwerksnoten miteinander verglichen. Beide Analysen weisen nach, dass eine generelle Tendenz des technischen Anlagenwerts innerhalb der Betrachtungsperiode mit den Mindestanforderungen der Eingangsparameter abbildbar ist. Durch den geringeren Detaillierungsgrad kommt es allerdings dennoch zu deutlichen Abweichungen beim technischen Anlagenwert. Daraus ergibt sich schlussendlich, dass für eine Vergleichbarkeit zwischen Ländern oder Straßenverwaltungen stets das gewählte Zustandsprognosemodell, das berücksichtigte Budget und die betrachtete

Ebene der Zustandsnoten (Bauteil- oder Bauwerksnoten) angegeben werden sollten. Die weitere Auseinandersetzung mit dem Berechnungsmodell durch praktische Anwendung an realen Infrastrukturnetzwerken, ist zur Verbesserung des zukünftigen Verständnisses für den technischen Anlagenwert unumgänglich.

## 7.2 Beantwortung der Forschungsfragen

In den nachfolgenden Abschnitten werden die Erkenntnisse aus der vorliegenden Dissertation durch die Beantwortung der zu Beginn definierten Forschungsfragen zusammengefasst.

### **Welche Eingangsgrößen und -parameter können für die Ermittlung eines zustandsbasierten technischen Anlagenwert herangezogen werden und wie ist deren Erfassung bzw. Ermittlung aktuell geregelt?**

Ausgehend von der durchgeführten Literatur- und Datenanalyse hat sich gezeigt, dass für die Auswahl von Eingangsgrößen für den technischen Anlagenwert folgende Datenpakete in Frage kommen: Zustandsdaten, Lebenszyklusdaten, Netzdaten, Inventardaten, Beanspruchungsdaten und Kostendaten. Diese wurden in weiterer Folge für die Anwendung des Berechnungsverfahrens im österreichischen Infrastrukturbau näher untersucht.

Der wohl wichtigste Baustein für einen zustandsbasierten technischen Anlagenwert ist der Zustand der vorhandenen Anlagen und Anlagenteile des Straßennetzes. Die Erfassung und Bestimmung dieses Parameters ist in Österreich durch die RVS-Richtlinien des FSV klar geregelt. Der Zustand des Straßenoberbaus wird basierend auf Mess- und Erfassungsgrößen je 50-m-Straßenabschnitt sowie Alters- und Verkehrskennwerten über Berechnungsmodelle bestimmt. Als Ergebnis liefert dies die Teilwerte Gebrauchswert ( $GI$ ) und Substanzwert ( $SI$ ) sowie den Gesamtwert ( $GW$ ) des Straßenoberbaus. Damit können die Fahrsicherheit, der Fahrkomfort und die technisch strukturelle Beschaffenheit der Straße über die 5-teilige Notenskala bewertet werden. Die Zustandsbewertung der Brücken und baulichen Tunnelanlagen erfolgt weitestgehend durch die fachliche Einschätzung eines Prüflingenieurs. Dieser beurteilt die Mängel und Schäden hinsichtlich deren Auswirkungen auf die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Das Ergebnis liefert über die Zustandsnote eine Einordnung nach dem Notensystem von 1 bis 5. Für die elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung im Tunnel erfolgt die Zustandsbewertung über den technischen Anlagen-Istzustand, die Ersatzteilverfügbarkeit und das Alter mittels Gewichtungsfunktion. Der Gesamtwert je Gewerk wird ebenfalls der 5-teiligen Notenskala zugeordnet. Die genauen Berechnungsschritte und Zuordnungen der Zustandsbewertung von Straßenoberbau, Brücke, Tunnel baulich sowie der elektrotechnischen und maschinellen Tunnelausrüstung können in Kapitel 2 dieser Arbeit nachgelesen werden.

Als weiteren wesentlichen Eingangswert, insbesondere für die Abschätzung der Entwicklung des technischen Anlagenwerts, hat sich das Wissen über den voraussichtlichen Lebenszyklus bzw. die Zustandsprognose herauskristallisiert. Hierfür stehen in Österreich aktuell keine normativen Regelungen zur Verfügung. Kommen für die Zustandsprognose Standardlebenszyklen zum Einsatz, dann können diese aus den Erfahrungen der Straßenverwaltung oder unterschiedlichen Literaturvorschlägen und Forschungsprojekten entnommen werden, wie beispielsweise den Vorgaben der Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) [2] oder dem *OPTimal*-Projekt [82]. Eine weitere Möglichkeit stellt die Ermittlung der Zustandsentwicklung auf Basis von Daten des Erhaltungsmanagements dar. Dabei kann durch die Anwendung unterschiedlicher Datenanalyseansätzen (z. B. „Random-Forrest-Analysen“, „Entscheidungsbaumanalysen“ oder „Markov-Ketten“) aus dem bisherigen Zustandsverhalten auf die weitere Degradation geschlossen werden. Es besteht jedoch in diesem Bereich derzeit keine allgemein gültige Methode zur Anwendung im Infrastrukturbau.

Zusätzlich zu den Informationen über den aktuellen und zukünftigen Zustand spielen Netz- und Inventardaten eine wichtige Rolle. In der Grundlagenanalyse des Abschnitts 2.4 dieser Arbeit hat sich gezeigt, dass es in Österreich bereits Vorgaben zu Datenmanagementsystemen über RVS-Richtlinien gibt. Die darin enthaltenen Mindestanforderungen umfassen unter anderem die wesentlichen Informationen zu Netz- und Referenzierungsdaten um einen örtlichen Zusammenhang zwischen den Bauwerken der Straßeninfrastruktur herstellen zu können. Diese ermöglichen in weiterer Folge über das österreichische Geoinformationssystem (GIS) Rückschlüsse auf die Beanspruchungen aus Klimaeinflüssen und Verkehrsbelastungen. Zusätzlich sind Vorgaben zu den grundlegenden Inventardaten der Bauwerke und Bauwerksteile hinsichtlich deren konstruktiven Eigenschaften und den geometrischen Angaben vorhanden.

Für die Ermittlung des monetären Werts eines Bauwerks oder die Abbildung der Wirkung einer Erhaltungsmaßnahme hat sich die Notwendigkeit von Kostenparametern gezeigt. Die ASFINAG besitzt hierfür eigene Kostenkennwerte, welche aus den nachträglichen Auswertungen durchgeführter Projekte ermittelt wurden. Sie enthalten Preisbenchmarks für unterschiedliche Bauwerke und Bauteile je Flächen- oder Längeneinheit. Diese Kostenkennwerte unterliegen keinen normativen Regelungen und werden von der ASFINAG vertraulich behandelt.

Schlussendlich hat sich im Zuge der vorliegenden Forschungsthematik gezeigt, dass zusätzlich zu den bereits angeführten Größen das Wissen über die Beanspruchungen der Anlage eine entscheidende Rolle spielen kann. Die Richtlinien und Expertengesprächen weisen auf den Einfluss von Klimaeinflüssen, wie beispielsweise Frostbelastungen, und Verkehrsbelastungen auf die Zustandsentwicklung hin. Sie können als Eingangsgröße für die Auswahl von Standardlebenszyklen Anwendung finden bzw. über Zustandsprognosemodelle direkt in die Berechnung einfließen.

### **Wie kann die Verknüpfung zwischen den Zustandsdaten und einem monetären bzw. nicht monetären technischen Anlagenwert erfolgen? Welche Mindestanforderungen müssen die verfügbaren Eingangsgrößen erfüllen, um für das Berechnungsmodell herangezogen werden zu können?**

Im Rahmen der Forschungsarbeit wurden neben dem Zustand unterschiedliche theoretische monetäre Werte als Grundlage für den qualitativen Zusammenhand erarbeitet. Dabei hat sich auf Basis der durchgeführten Workshops, zwischen dem Forschungskonsortium des Forschungsprojekts *TAniA* und den Stakeholdern der Straßenverwaltungen, der Erneuerungswert als wesentlicher Ausgangswert herauskristallisiert. Dieser gibt den theoretischen monetären Wert wieder, der benötigt wird, um eine Anlage mit der gleichen Funktionalität, aber nach dem aktuellen Stand der Technik zu errichten. Daraus ist ableitbar, dass der Erneuerungswert dem technischen Anlagenwert eines Bauwerks oder Anlagenteils in neuwertigem Zustand (Zustandsnote 1) entspricht. Es handelt sich dabei jedoch nicht um einen tatsächlichen Neubau der kompletten Anlage, sondern viel mehr um die Anwendung intensiver Instandsetzungen, bei denen konstruktive Bauteile teilweise beibehalten werden können (z. B. Pfeilerfundamente oder bereits ausgebrochene Tunnelröhre).

Im nächsten Schritt erfolgt die Verknüpfung zwischen den Zustandsdaten und dem monetären technischen Anlagenwert über ein Kosten-Zustands-Diagramm. Dabei wird gemäß den Ausführungen in Abschnitt 3.4.3 zuerst der punktuelle Zusammenhang durch die Zuordnung der Erhaltungsmaßnahme zu der auslösenden Zustandsnote ermittelt. Anschließend erfolgt die Zuordnung der Kosten zu der betreffenden Maßnahme. Im nächsten Schritt ermittelt man die Differenz zwischen dem Erneuerungswert und den Kosten der Erhaltungsmaßnahme, wodurch für jede Zustandsnote der verbleibende Anteil des technischen Anlagenwerts resultiert. Dieser kann nach der Division durch den Erneuerungswert als Faktor zur Berechnung des technischen Anlagenwerts auf Basis des Zustands und des Erneuerungswerts ( $TAW = f(EW; Z)$ ) verwendet werden. Abschließend können die einzelnen Punkte mittels Regressionsfunktion oder abschnittsweise linearer Funktionen zu einem Zustand-TAW-Diagramm zusammengeführt werden. Dieses Vorgehen ist

auf Bauwerks-, Funktions- als auch Bauteilebene anwendbar. Eine detaillierte Darstellung der Zusammenhänge für den Straßenoberbau, Brücken, Tunnel baulich sowie elektrotechnische und maschinelle Tunnelausrüstung ist in Abschnitt 3.4.3 dieser Arbeit enthalten. Schlussendlich ist für die Ermittlung der nicht monetären technischen Anlagenwerts eine Normierung mittels Division des monetären technischen Anlagenwerts durch den Erneuerungswert notwendig.

Auf Basis der Datenanalyse in Österreich und jener der anderen DACH-Länder im Zuge des Forschungsprojekts *TAniA* konnten die Mindestanforderungen für die Eingangsgrößen Netz- und Referenzierungsdaten, aktueller Zustand, Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung, Inventardaten, Beanspruchungen und Kosten definiert werden. Sie ermöglichen eine überschlägige Berechnung des technischen Anlagenwerts für Straßenverwaltungen mit einer derzeit geringen Datenqualität und -quantität. Die vorgeschlagenen Mindestanforderungen können wie folgt zusammengefasst werden:

**Netz- und Referenzierungsdaten:** Für die Zusammenführung des technischen Anlagenwerts unterschiedlicher Anlagenarten ist deren örtlicher Zusammenhang und Zuordnung zu Straßen- oder Netzabschnitten notwendig.

**Aktueller Zustand:** Der aktuelle Zustand muss mindestens über die Gesamtnote je Anlage (Bauwerksnote) erfasst sein.

**Lebenszyklus bzw. Zustandsentwicklung:** Die Mindestanforderung für die Prognose der Zustandsentwicklung besteht in der Zuordnung der Anlagen zu geeigneten Standardlebenszyklen.

**Inventardaten:** Das Asset Management muss für die Anwendung des technischen Anlagenwerts zumindest die grundlegenden Strukturinformationen der Anlagen besitzen. Diese müssen ausreichen, um die Zuordnung zu Standardlebenszyklen und zu den Kostenkennwerten zu ermöglichen.

**Beanspruchungen:** Bei den Beanspruchungen sind insbesondere die vorhandene Verkehrsbelastung und Klimaeinflüsse zu erfassen. Diese werden bei der Auswahl des Standardlebenszyklus berücksichtigt.

**Kosten:** Hinsichtlich der Kosten sind Kostenkennwerte für die einzelnen Anlagenarten zumindest auf Bauwerksebene für die unterschiedlichen Erhaltungsmaßnahmen festzulegen.

An dieser Stelle muss jedoch nochmals darauf hingewiesen werden, dass diese Mindestanforderungen dazu führen, dass wesentlichen Entscheidungen durch facheinschlägige Experten und Expertinnen über ingenieurmäßige Einschätzungen getroffen werden müssen. Eine detailliertere Erfassung der Eingangsgrößen wird ausdrücklich empfohlen. Dies führt in weiterer Folge zu einer genaueren Prognose und automatisierten Berechnung des technischen Anlagenwerts.

**Welchen Mehrwert bietet ein standardisierter Berechnungsalgorithmus für den technischen Anlagenwert hinsichtlich der Erhaltungsplanung? Welche Informationen können aus dem technischen Anlagenwert auf den unterschiedlichen Anwendungsebenen gewonnen werden?**

Den größten Mehrwert liefert der technische Anlagenwert in der Erhaltungsplanung durch die Möglichkeit, unterschiedliche Assets mit verschiedenen Zustandserfassungen sowie Prognosegenauigkeiten zusammenzuführen. Dadurch kann eine gesamtheitlichere Betrachtung der Straßeninfrastruktur bei der Planung von Bauprogrammen gewährleistet werden. Abschnitt 5.3 zeigt anschaulich, wie die Zusammenführung der Anlagenarten Straßenoberbau, Brücke und Tunnel für das Gesamtstraßennetz mittels des technischen Anlagenwerts funktioniert. Trotz

getrennter Datenbanken und oftmals unterschiedlichen zuständigen Abteilungen ist somit eine gemeinsame Betrachtung möglich. Einen weiteren Vorteil hierbei liefert der entwickelte Berechnungsalgorithmus durch dessen einfache und rasche Implementierung im bereits bestehenden Datenmanagementsystem. Die Ermittlung des technischen Anlagenwerts baut auf den bisherigen Zustandsprognosemodellen und Erhaltungsplanungen auf. Die Systeme werden daher durch den neuen Parameter lediglich ergänzt, wodurch keine Umstellungen im bereits erprobten Vorgehen erforderlich sind.

Als zusätzlichen Benefit bietet die Einführung einer anpassbaren, aber standardisierten Berechnungsmethode die Basis für eine umfangreiche Anwendung in unterschiedlichen Ländern oder Ebenen der Verkehrssysteme (z. B. Landesstraßen oder Gemeindestraßen). Dies führt dazu, dass die Vergleichbarkeit der Erhaltungsziele und der damit verbundenen Maßnahmen trotz verschiedener Zustandsbewertungsmethoden und -systemen sichergestellt ist. Die Stakeholder der einzelnen Länder können sich mit Hilfe einer gemeinsamen Kennzahl über die Erfahrungen im Erhaltungsmanagement inkl. den Auswirkungen leichter austauschen. Dies wiederum führt zu einem größeren Wissenspool und einem allgemeineren Verständnis im Bereich der strategischen Erhaltungsplanungen sowie in weiterer Folge zu einem gezielteren Mittel- und Ressourceneinsatz.

Abschnitt 6.1 zeigt ausführlich die unterschiedlichen Informationen, die der technische Anlagenwert auf den fünf Anwendungsebenen liefert. Auf der obersten Ebene (Ebene 5 – Netzebene) erfolgt die Darstellung aller Anlagenarten für das gesamte Verkehrswegenetz. Dabei ist in erster Linie durch die Abbildung des monetären und normierten technischen Anlagenwerts innerhalb der Betrachtungsperiode eine generelle Einschätzung der Entwicklung des Netzzustands erkennbar. Auf Basis dieser Information können generelle Budgetentscheidungen getroffen werden. Fällt der Wert auf Netzebene ab, dann lässt sich beispielsweise daraus ableiten, dass zukünftig mehr Budgetmittel erforderlich sein werden, um den aktuellen Netzzustand halten zu können. Weiter ist auf dieser Ebene auch ein Vergleich der Anteile von Konstruktion und Ausrüstung möglich. Aus dem Verlauf der beiden Werte können Erkenntnisse über die Wirkung der geplanten Investitionen gewonnen werden. Die Darstellung des ASFINAG-Netzes zeigt, dass die Erhaltungsmaßnahmen insbesondere den Zustand der konstruktiven Anlagenteile auf einem konstant hohen Niveau hält. Schließlich ist mit Hilfe der Darstellung des technischen Anlagenwerts je Anlagenart ein Vergleich zwischen diesen bezogen auf das Gesamtnetz möglich. Anhand des monetären technischen Anlagenwerts ist der Einfluss des Anlagentyps auf den Gesamtwert des Netzes ersichtlich. Je höher der monetäre Wert ist, umso stärker schlägt die Veränderung auf den normierten technischen Anlagenwert des Straßennetzes durch.

Auf Ebene 4 – Abschnitts- bzw. Streckenebene erfolgt die Auswertung des technischen Anlagenwerts mit Hilfe unterschiedlicher Clusterungen, wie beispielsweise nach Maut-Korridoren. Mit dieser Einteilung können übergeordnete Erhaltungsziele überwacht und analysiert werden. Die Auswertung des normierten technischen Anlagenwerts getrennt nach Maut-Korridoren spiegelt unter anderem die Erfüllung der europäischen Verordnung für den Aufbau eines transeuropäischen Verkehrswegenetzes wider. Die darin enthaltenen Kernbereiche zeigen innerhalb der Betrachtungsperiode einerseits eine klare Verbesserung jener Bereiche, die einen geringeren technischen Anlagenwert besitzen und andererseits ein gleichbleibend hohes Niveau für jene Korridore, die bereits in einem guten Zustand sind. Unterschiedliche Clusterungen können auf dieser Ebene dazu genutzt werden, um den Zusammenhang von Zustandsveränderungen mit Bereichen unterschiedlicher Verkehrsbelastungen oder vorhandener Umwelteinflüsse zu analysieren.

Mit Hilfe der Darstellung des technischen Anlagenwerts auf Ebene 3 – Anlagenebene ist die Betrachtung jedes einzelnen Objekts innerhalb des Straßennetzes möglich. Der prognostizierte Verlauf gibt Aufschluss über die Durchführung von Erhaltungsmaßnahmen am jeweiligen Bauwerk. Anhand des Sprungs im normierten technischen Anlagenwert ist der Zeitpunkt und die Intensität

der Maßnahme ersichtlich. Dies kann in der Planung von Bauprogrammen übernommen oder manuell angepasst werden.

Die Ebene 2 – Funktionsebene liefert die Möglichkeit einer näheren Untersuchung von Anlagen und den geplanten Erhaltungsmaßnahmen. Durch die Trennung von Ausrüstung und Konstruktion ist eine gezieltere Maßnahmenplanung durchführbar. Ist der Wertverlust der Anlage beispielsweise hauptsächlich durch die Ausrüstung bedingt, dann sind gezielte Instandsetzungen oder Erneuerungen dieser Bauteile sinnvoller als eine umfangreiche Sanierung des gesamten Bauwerks.

Will der Straßenbetreiber in weiterer Folge noch detaillierte Informationen zu den betroffenen Bauteilen, dann ist auf die Auswertung der Ebene 1 – Bauteilebene zurückzugreifen. Mit Hilfe der Darstellung des technischen Anlagenwerts je Anlagenteil, können jene Teile die einen besonders schlechten Zustand aufweisen identifiziert werden. Der gezielte Austausch von einzelnen Bauteilen kann für eine strategische Planung der verfügbaren Mittel von großem Nutzen sein.

**Wie wirkt sich die Änderung des Investitionsbudgets auf die Prognose des technischen Anlagenwerts aus? Sind Vergleiche zwischen unterschiedlichen Maßnahmenstrategien möglich? Kann ein Bezug zwischen den eingesetzten Budgetmitteln und der Veränderung des technischen Anlagenwerts im Sinne einer langfristigen Prognose hergestellt werden?**

Aus den Gegenüberstellungen des technischen Anlagenwerts mit den unterschiedlichen Budgetszenarien für den Straßenoberbau und die Brücken in Abschnitt 6.2 dieser Dissertation lässt sich kein allgemeiner Zusammenhang begründen. Betrachtet man die einzelnen Anlagentypen getrennt voneinander mit den vorhandenen Investitionsmitteln, dann kann aus den Verläufen der Prognose eine allgemeine Abschätzung des benötigten Budgets für bestimmte Ziele getroffen werden. Es hat sich beispielsweise gezeigt, dass sich die Höhe des benötigten jährlichen Investitionsbudgets zum Erhalt des Ausgangswerts im Sinne des technischen Anlagenwerts auf diese Weise ermitteln lässt. Anhand der detaillierten Betrachtungen ist zudem erkennbar, dass die Höhe des erforderlichen Budgets für einen konstanten technischen Anlagenwert mit der Höhe des Ausgangswerts wächst. Für eine genaue Abschätzung sind jedoch mit den vorliegenden Daten zu wenige Proben vorhanden, weshalb eine prozentuale Aussage an dieser Stelle aus wissenschaftlicher Sicht nicht getroffen werden kann.

Grundsätzlich hat sich gezeigt, dass Vergleiche zwischen unterschiedlichen Maßnahmenstrategien möglich sind. Mit mehreren Budgetszenarien ist eine qualitative Abschätzung der Auswirkungen von Änderungen des Investitionsbudgets auf den technischen Anlagenwert durchführbar. Durch die Berücksichtigung eines unlimitierten Budgets lässt sich der maximal mögliche technische Anlagenwert ermitteln, der unter realen Umständen beim vorliegenden gewachsenen Straßennetz erzielbar ist. Es hat sich gezeigt, dass ein normierter technischer Anlagenwert auf Netzebene von  $TAW_{t,n} = 100$  durch die Verteilung der Errichtungsjahre der Bauwerke nie erreicht wird. Zudem ist aus den beiden vorliegenden Untersuchungen erkennbar, dass die generelle Tendenz der Verläufe des technischen Anlagenwerts sehr unterschiedlich ist. Im Bereich des Straßenoberbaus zeichnet sich durch ein unlimitiertes Budget eine Obergrenze des erreichbaren technischen Anlagenwerts in Form eines Plateaus ab, wohingegen bei den Brückenbauwerken unter den gleichen Bedingungen ein wellenförmiger Verlauf entsteht. Demzufolge ist keine generelle Aussage begründbar, weshalb weitere Untersuchungen empfohlen werden.

Durch eine gemeinsame Betrachtung der beiden durchgeführten Budgetvergleiche lässt schlussendlich zumindest ein Anhaltspunkt für eine Abschätzung des erforderlichen Budgets treffen. Es hat sich gezeigt, dass im Durchschnitt etwa 3,5 % des Erneuerungswerts jährlich in die Erhaltung der Anlagen investiert werden müsste, um ein gleichbleibendes Niveau zu erreichen. Die Autorin betont allerdings, dass es sich dabei nur um einen Anhaltspunkt für eine grobe Abschätzung handelt und empfiehlt diesen als Ausgangswert für die Berechnungen mit mehreren Budgetszenarien

zu nutzen. Weitere Untersuchungen auf Basis anderer Netzdaten sind für eine genauere Aussage zielführend und sinnvoll.

**Welche Auswirkungen hat die Auswahl unterschiedlicher Zustandsprognosemodelle (Standardlebenszyklen oder Ableitung aus Managementsystemen) auf den technischen Anlagenwert? Ist ein Unterschied zwischen der Verwendung von Gesamtbauwerksnoten und Bauteilnoten zu erkennen?**

Aufgrund des Wunsches nach einem flexibel anpassbaren Berechnungsmodell für einen technischen Anlagenwert sind unterschiedlich hohe Datenqualitäten der Eingangsgrößen verwendbar. Die Abschnitte 6.3 und 6.4 befassen sich aus diesem Grund mit den Auswirkungen unterschiedlicher Zustandsprognosemodelle sowie Ebenen der Zustandsnoten auf die Prognose des technischen Anlagenwerts. Abschnitt 6.3 geht detailliert auf die Verwendung der Zustandsprognose nach Variante A – Lebenszyklen aus dem PMS und Variante C – Standardlebenszyklen ein. Dabei zeigt sich, dass bei der Anwendung von Standardlebenszyklen wesentlich mehr Budgetmittel innerhalb der Betrachtungsperiode notwendig sind, als beim standardmäßig angewendeten Budgetvariante des PMS. Dies führt dazu, dass die Berechnung des technischen Anlagenwerts ebenfalls etwas höhere Ergebnisse liefert. Im Falle des Straßenoberbaus ist dieser unter Verwendung von Standardlebenszyklen durchschnittlich um 4,5 % höher. Dabei ist zu erkennen, dass die Verläufe der beiden Varianten trotz des großen Budgetunterschieds annähernd parallel zueinander verlaufen. Die durchgeführte Analyse bezieht zusätzlich die Zustandsprognose laut PMS mit einem annähernd gleich hohen Budget innerhalb der Betrachtungsperiode mit ein. Anhand dieses Vergleichs zeigt sich, dass bei gleichem Investitionsbudget ähnliche Ergebnisse im technischen Anlagenwert erzielt werden können. Eine gleichmäßige Verteilung der Investitionen und eine gezielte Planung der Erhaltungsmaßnahmen führen somit zu einem wirtschaftlicheren Einsatz der Geldmittel. Dies wird schlussendlich auch durch die Effektivitätsdiagramme der drei Varianten bestätigt. Zusammenfassend zeigt sich, dass die Verwendung von Standardlebenszyklen eine gute Näherung in Sinne des technischen Anlagenwerts darstellt, welche tendenziell eher eine zu hohe Einschätzung liefert. Bei einem Vergleich mit anderen Ländern sollte daher immer die gewählte Variante und das berücksichtigte Budget, zumindest bezogen auf den Erneuerungswert, angegeben werden.

Abschnitt 6.4 beschreibt, dass die Verwendung von Bauwerksnoten als Basis der Zustandsprognose ebenfalls möglich ist. Diese lieferte jedoch für Brücken einen niedrigeren technischen Anlagenwert als bei der Verwendung von Bauteilnoten. Eine Begründung hierfür kann in den Richtlinien zur Zustandsbewertung von Brücken gefunden werden. Darin ist festgehalten, dass bei der Ermittlung der Gesamtnote von Brücken insbesondere der Zustand von tragenden Bauteilen stärker zu berücksichtigen ist. Demnach weist eine Brücke mit einem sehr guten Zustand der Ausrüstung und gleichzeitig einem schlechten Zustand eines einzigen tragenden Bauteils tendenziell eine schlechtere Gesamtnote auf. Dies zeigt sich in weiterer Folge auch in einem allgemein niedrigeren technischen Anlagenwert. Grundsätzlich weisen jedoch die Verläufe des technischen Anlagenwerts auf Basis von Bauwerksnoten und Bauteilnoten die gleichen Grundaussagen auf. Daraus ist ableitbar, dass der qualitative Zusammenhang von Zustand und dem Anteil des technischen Anlagenwerts am Erneuerungswert für das Gesamtobjekt eine gute Näherung darstellt. Es ist also zusammenfassend festzuhalten, dass Gesamtnoten für die Berechnung des technischen Anlagenwerts eine gute Alternative bei fehlenden Bauteilnoten sind und eine grundsätzliche Abschätzung der tendenziellen Entwicklung erlauben. Sie liefern jedoch in den meisten Fällen niedrigere Ergebnisse aufgrund des Durchschlagens von konstruktiven Anlagenteilen mit schlechterem Zustand. Dies ist aus Sicht der Autorin beim Vergleich mit anderen Ländern auf jeden Fall anzuführen und zu berücksichtigen.

## 7.3 Ausblick

Die Betrachtung der Entwicklungen der letzten Jahre innerhalb der Baubranche und dem Betrieb von Anlagen zeigt, dass das Thema Digitalisierung in allen Bereichen eine wesentliche Rolle spielt. Neben der Nutzung von bereits vorhandenen Daten bildet auch die gezielte Datenerfassung und ein langfristiges Datenmanagement einen wichtigen Baustein. Die vorliegende Arbeit gibt Aufschluss darüber, was beim Aufbau eines vollumfänglichen Datenmanagementsystems beachtet werden sollte, um eine strategische und gesamtheitliche Erhaltungsplanung auf Basis des technischen Anlagenwerts durchführen zu können. Anhand der vorgenommenen Datenanalysen konnten die derzeit vorherrschenden Unterschiede in der Datenqualität und -quantität der DACH-Länder aufgezeigt werden. Zur Förderung des internationalen Austauschs im Bereich der Erhaltungsplanung von Infrastrukturanlagen ist daher die Vergleichbarkeit untereinander erforderlich, weshalb weitere Untersuchungen für die Umsetzbarkeit und Verbesserung der Datenmanagementsysteme erfolgen sollten.

Bereits die Analyse des implementierten Berechnungsmodells in den ASFINAG-Datenbanken hat gezeigt, dass derzeit noch keine Empfehlung eines sinnvollen Zielwerts auf Basis des technischen Anlagenwerts möglich ist. Hierfür sind Berechnungen auf anderen Datengrundlagen zu forcieren. Nur unter Bezug auf eine breit gestreute Datenanalyse können allgemein gültige Aussagen in Sinne einer technischen Beurteilung in diesem Bereich gefestigt werden. Zusätzlich kann darauf aufbauend die vorgestellte Kategorisierung für den normierten technischen Anlagenwert anhand der 5-teiligen Notenskala weiter diskutiert und verfeinert werden. Mit Hilfe von weiteren Untersuchungen könnte zudem der Zusammenhang von eingesetztem Budget und Änderung des technischen Anlagenwerts ermittelt werden. Eine Feststellung dieses Zusammenhangs war anhand der vorliegenden Daten bisher nicht möglich. Ausgehend von der Aussage, dass der Budgetbedarf zum Beibehalten des anfänglichen technischen Anlagenwerts mit der Steigerung des Ausgangswerts wächst, sind weitere Datenanalysen zielführend.

Zu Beginn dieser Arbeit wurde die Zustandserfassung und -bewertung in Österreich näher erläutert, welche überwiegend auf Regelungen der RVS-Richtlinien aufbauen. Diese werden laufend überarbeitet und an die aktuellen Forschungs- und Entwicklungsergebnisse im Bezug auf die zur Verfügung stehenden Messeinrichtungen und Zustandswertermittlungen angepasst. Während der Ausarbeitung der vorliegenden Dissertation wurden insbesondere die Richtlinien *RVS 13.01.15* [64] und *RVS 13.01.16* [66] mit Oktober 2022 neu herausgegeben. Sie enthalten einerseits Abänderungen in der Definition der Schadensschwere und Gewichtung von Einzelmerkmalen bei Oberflächenschäden und Rissen (siehe Abschnitt 2.1.1) und andererseits geänderte Normierungsparameter für die Ermittlung der Zustandswerte des Straßenoberbaus (siehe Abschnitt 2.1.2). Diese Änderungen wurden jedoch zum Zeitpunkt der Implementierung noch nicht in den Datenbanken berücksichtigt, weshalb die Zustandsbewertung und -prognose noch auf den davor gültigen Richtlinien aufbaut. Aus diesem Grund wurden die betreffenden Änderungen auch nicht in der vorliegenden Arbeit beschrieben, um den durchgehenden Zusammenhang aufrecht zu erhalten. Zukünftig wird auf jeden Fall eine Anpassung der Zustandswertermittlung in der ASFINAG-Datenbank erfolgen müssen. Die daraus entstehenden Auswirkungen auf die Ermittlung der technischen Anlagenwerts sollte aus Sicht der Autorin jedenfalls in weiterer Folge näher untersucht werden.

Des Weiteren wird das Thema Building Information Modeling (BIM) in Zukunft im Abwicklungsprozess von Bauvorhaben im Sinne einer gesamtheitlichen Lebenszyklusbetrachtung nicht mehr wegzudenken sein. Aus diesem Grund ist eine zukünftige Einbeziehung dieser Methode für das Berechnungsmodell des technischen Anlagenwerts sinnvoll und zielführend. Aus Sicht der Autorin ist insbesondere die Verwendung von openBIM-Standards an dieser Stelle hervorzuheben, da diese mit dem Ziel eines flexibel anwendbaren Lösungsansatzes korrelieren. Wie bereits

Eichler et al. [30] im „*BIMcert Handbuch – Grundlagenwissen openBIM*“ hervorhebt, bietet der openBIM-Standard von buildingSMART den Vorteil einer softwareunabhängigen, transparenten und langfristig verwendbaren Lösung für die digitale Zusammenarbeit. Als Ausgangsbasis kann die IFC<sup>15</sup>-Datenstruktur für die Verkehrsinfrastruktur herangezogen werden, welche 2018 im Zuge eines Forschungsprojekts [35] entwickelt wurde. Diese enthält bereits Elementklassen und Attribute zur Speicherung der Informationen je Bauteil. Für die Verwendung im Berechnungsmodell des technischen Anlagenwerts sind aus Sicht der Autorin insbesondere die bauteilbezogene Speicherung von Inventar- und Kostendaten von Bedeutung. Diese könnten zukünftig automatisch aus dem BIM-Modell der Planung bzw. Ausführung in das Datenmanagementsystem übernommen werden. Dadurch könnte die händische Eingabe entfallen, was in weiterer Folge zur Reduktion einer möglichen Fehlerquelle führt.

Ein weiterer Vorteil aus der Verwendung der BIM-Methode im Infrastrukturbau könnte im Bereich der Kostenkennwerte generiert werden. Durch die konsequente Anwendung einer BIM-basierten Abrechnung auf Basis der *ÖNORM A 2063-2:2021 03 15 Austausch von Daten in elektronischer Form für die Phasen Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) – Teil 2: Berücksichtigung der Planungsmethode Building Information Modeling (BIM) Level 3* [42] besteht die Möglichkeit einer bauteilbezogenen Vergütung. Demnach erleichtert sich in weiterer Folge die Erfassung von Kosten je Anlagenteil einerseits für Neubauprojekte und andererseits für Erhaltungsmaßnahmen, bei weiterer Nutzung der Modelle im Bestand. Dieses Vorgehen kann in Zukunft die Genauigkeit der Kostenkennwerte und somit der Eingangsgrößen für die Ermittlung der technischen Anlagenwerts erhöhen. Abschließend ist an dieser Stelle jedoch zu betonen, dass die Anwendung von BIM im Infrastrukturbau noch am Anfang steht, weshalb noch einige Jahre an Forschung, Entwicklung und Standardisierung in diesem Bereich erforderlich sein werden.

Abschließend sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass die Umsetzung des vorgestellten Berechnungsmodells nicht auf das höherrangige Straßennetz beschränkt ist. Durch die gegebene Flexibilität bei der Auswahl der Eingangsgrößen ist eine Anwendung auf andere Bereiche des Verkehrswegenetzes, wie beispielsweise Gemeinde- und Landesstraßen durchaus denkbar. Dabei sind insbesondere die Kostenkennwerte und Zustandsprognosemodelle an die Erfahrungen der jeweiligen Straßenverwaltung anzupassen. Zusätzlich bietet das Modell eine Grundlage für den Aufbau eines gezielten Datenmanagementsystems inkl. sinnvollen Mindestanforderungen im Sinne einer strategischen Erhaltungsplanung, unabhängig von der gewählten Softwarelösung. Es ist des Weiteren davon auszugehen, dass das entwickelte Modell des zustandsbasierten technischen Anlagenwerts nicht auf die Straßeninfrastruktur beschränkt ist. Die Anwendung in den Bereichen Schienen und Wasserstraßen ist zukünftig ebenfalls denkbar.

---

<sup>15</sup>IFC = Industry Foundation Classes

# Literatur

- [1] *Ablösebeträge-Berechnungsverordnung (ABBV) i.d.F. vom 1. Juli 2010 (BGBl. I S. 856)*. Deutschland, Juli 2010.
- [2] H. Adden, S. Engelhardt, W.-D. Friebel, A. Lehan, J. Schwarz, L. Speier, M. Thewes und P. Vogt. *Empfehlung für die Ermittlung von Lebenszykluskosten für Straßentunnel*. Köln: Herausgeber: Deutscher Ausschuss für unterirdisches Bauen e. V. (DAUB) – German Tunnelling Committee (ITA-AITES), 2018.
- [3] Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG). *Das Recht, Maut einzuheben*. 2022. URL: <https://www.asfinag.at/maut-vignette/mautordnung/mautrecht/#:~:text=Durch%20das%20ASFINAG%2DErm%C3%A4chtigungsgesetz%201997,allen%20%C3%B6sterreichischen%20Autobahnen%20und%20Schnellstra%C3%9Fen>. (Zugriff am 22. 12. 2022).
- [4] Autobahnen- und Schnellstraßen- Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG). *Die ASFINAG in Zahlen*. 12. Juli 2022. URL: [https://www.asfinag.at/ueber-uns/zahlen-fakten/#:~:text=Sie%20k%C3%B6nnen%20sich%20gerne%20an,aus%20allen%20anderen%20L%C3%A4ndern\)%20erreichbar](https://www.asfinag.at/ueber-uns/zahlen-fakten/#:~:text=Sie%20k%C3%B6nnen%20sich%20gerne%20an,aus%20allen%20anderen%20L%C3%A4ndern)%20erreichbar). (Zugriff am 08. 03. 2023).
- [5] Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG). *Baukennzahlen für IIP (2020 ff) – Preisbasis 2018*. (unveröffentlicht, vertraulich). Wien, 2019.
- [6] Bundeskanzleramt Österreich. *Aus Verantwortung für Österreich. Regierungsprogramm 2020-2024*. Wien: Herausgeber: Bundeskanzleramt Österreich, 2020. 232 S.
- [7] Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie. *Statistik Straße und Verkehr*. Wien: Herausgeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Apr. 2022. 124 S.
- [8] Deighton Associates Limited. *Aggregate Data for Analysis*. 2022. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/11196702-aggregate-data-for-analysis> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [9] Deighton Associates Limited. *Analysis Segmentation*. 2022. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/12536384-analysis-segmentation> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [10] Deighton Associates Limited. *Analysis Sets*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4409614521623-Analysis-Sets> (Zugriff am 12. 04. 2022).
- [11] Deighton Associates Limited. *Asset-Daten – Abfrageergebnisse*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4410171591959-Asset-Data-Query-Results> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [12] Deighton Associates Limited. *Budget Comparison*. Jan. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4410629450263-Budget-Comparison> (Zugriff am 13. 04. 2022).
- [13] Deighton Associates Limited. *Budget Scenarios*. Jan. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4410622761367-Budget-Scenarios> (Zugriff am 12. 04. 2022).

- [14] Deighton Associates Limited. *Budget Scenarios*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4410171308055-Budget-Charts> (Zugriff am 13. 04. 2022).
- [15] Deighton Associates Limited. *Construction Program*. Jan. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4410798137367-Construction-Program> (Zugriff am 19. 04. 2022).
- [16] Deighton Associates Limited. *Database Expressions*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4411050552343-Database-Expressions> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [17] Deighton Associates Limited. *Dataviews*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4411050688919-Dataviews> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [18] Deighton Associates Limited. *dtims Grundlagenschulung I*. Schulungsunterlagen (nicht veröffentlicht). Wien, 14. Okt. 2020.
- [19] Deighton Associates Limited. *dtims LCCA Concepts*. 2022. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/12363728-dtims-lcca-concepts> (Zugriff am 12. 04. 2022).
- [20] Deighton Associates Limited. *Future Oriented Lifecycle Approach on Bridges in Austria*. 2022. URL: <https://www.deighton.com/project-austria> (Zugriff am 02. 03. 2022).
- [21] Deighton Associates Limited. *Map*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4412060119063-Map> (Zugriff am 19. 04. 2022).
- [22] Deighton Associates Limited. *Overview – Database Concepts*. 2021. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/11794270-overview-database-concepts> (Zugriff am 27. 02. 2021).
- [23] Deighton Associates Limited. *Reporting Overview*. 2022. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/11783509-overview> (Zugriff am 13. 04. 2022).
- [24] Deighton Associates Limited. *Review & Adjust*. Jan. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4412150664471-Review-Adjust> (Zugriff am 20. 04. 2022).
- [25] Deighton Associates Limited. *Strategic Analysis Module - SAM Results*. 2022. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/12523166-strategic-analysis-module-sam-results> (Zugriff am 19. 04. 2022).
- [26] Deighton Associates Limited. *Table Transformation*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4412143741719-Table-Transformations> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [27] Deighton Associates Limited. *Three Database Terms You Need to Know*. 2021. URL: <https://dtims.thinkific.com/courses/take/dtimsba-level-I-concepts/lessons/%0911493728-three-database-terms-you-need-to-know> (Zugriff am 27. 02. 2021).
- [28] Deighton Associates Limited. *Treatments*. Feb. 2022. URL: <https://support.deighton.com/hc/en-us/articles/4412136000279-Treatments> (Zugriff am 11. 04. 2022).
- [29] *DIN ISO 55000:2017 05 Asset Management – Übersicht, Leitlinien und Begriffe (ISO 55000:2014); Text Deutsch und Englisch*. Berlin: DIN Deutsch Institut für Normung e. V., Mai 2017.
- [30] C. Eichler, C. Schranz, T. Krischmann und H. Urban. *BIMcert Handbuch – Grundlagenwissen openBIM*. Ausgabe 2023. Niederfrohna: Mironde-Verlag, 2023. ISBN: 978-3-96063-052-4.

- [31] S. Engelhardt. „Lebenszykluskosten von Tunnelbauwerken – Modulares Prozessmodell zu ökonomischen Optimierung von Straßentunneln“. Dissertation. Universität der Bundeswehr München, 2015.
- [32] T. Feßl. *Mobilität – Ein Grundbedürfnis für Wirtschaft und Gesellschaft*. 2018. URL: [https://news.wko.at/news/oesterreich/2018\\_wba-Mobilitaet.pdf](https://news.wko.at/news/oesterreich/2018_wba-Mobilitaet.pdf) (Zugriff am 23.09.2022).
- [33] Forschungsgesellschaft Straße-Schiene-Verkehr. *RVS-Shop*. 2018. URL: <http://www.fsv.at/shop/produktliste.aspx?ID=76b8e427-d3b2-4c25-8baa-00ae618e258e> (Zugriff am 02.03.2022).
- [34] U. Götze und J. Bloech. *Investitionsrechnung*. 3. Auflage. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 2002. ISBN: 3-540-42466-0.
- [35] M. Hallinger und B. Silberbauer. *BIM VI – Datenstruktur Für Verkehrsinfrastruktur*. Forschungsber. (Kurzfassung). Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), ÖBB-Infrastruktur AG, Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) und Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG), Nov. 2018. 2 S.
- [36] M. Hoffmann. *Lebenszykluskosten der Straßeninfrastruktur*. Wien: TU Wien – Institut für Straßenbau und Straßenerhaltung, 2019. ISBN: 978-3-901912-36-8.
- [37] C. Honeger, K. Engelke, R. Schremser, M. Krmek, T. Moser, C. Antony, R. Maurer, K. Gragger, J. Steigenberger und S. Gabl. *Netzzustandsbericht 2020*. Wien: Herausgeber: ASFINAG Bau Management GmbH, 2020.
- [38] *ISO 15686-5:2017 07 Buildings and constructed assets – Service life planning – Part 5: Life-cycle costing*. Switzerland: ISO copyright office, Juli 2017.
- [39] L. Kruschwitz. *Finanzmathematik – Lehrbuch der Zins-, Renten-, Tilgungs-, Kurs- und Renditerechnung*. 5. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2010. ISBN: 978-3-486-59159-0.
- [40] L. Kruschwitz und S. Husmann. *Finanzierung und Investition*. 7. Auflage. München: Oldenbourg Wissenschaftsverlag GmbH, 2014. ISBN: 978-3-486-70259-0.
- [41] C. Molzer und J. Litzka. *Auswertung und Analyse der Zustandserfassung 1995 – österreichisches Bundesstraßennetz*. Heft 8. Wien: Mitteilungen des Instituts für Straßenbau und Straßenerhaltung der Technischen Universität Wien, 1997.
- [42] *ÖNORM A 2063-2:2021 03 15 Austausch von Daten in elektronischer Form für die Phasen Ausschreibung, Vergabe und Abrechnung (AVA) – Teil 2: Berücksichtigung der Planungsmethode Building Information Modeling (BIM) Level 3*. Wien: Austrian Standards International, März 2021.
- [43] *ÖNORM EN 13036-5:2020-03-15 Oberflächeneigenschaften von Straßen und Flugplätzen – Prüfverfahren – Teil 5: Bestimmung der Längsunebenheitindizes*. Wien: Austrian Standards International, März 2020.
- [44] *ÖNORM EN 13306:2018 01 15 Instandhaltung – Begriffe der Instandhaltung (mehrsprachige Fassung: en/fr/de)*. Wien: Austrian Standards International, Jan. 2018.
- [45] PIARC Technical Committee C.4 Road Tunnel Operation. *Life cycle aspects of electrical road tunnel equipment*. Hrsg. von World Road Association (PIARC). Report 2012R14EN. 2012. 37 S.

- [46] PMS-CONSULT – Ingenieurbüro für Verkehrswesen und Infrastrukturplanung GmbH. *Asset Management*. 2013. URL: <https://www.pms-consult.at/asset.html> (Zugriff am 02.03.2022).
- [47] S. Rockenschaub. „dTIMS – Deighton Total Infrastructure Management System“. Bachelorarbeit. TU Wien, 2021.
- [48] *RPE-Stra 01: Richtlinie für die Planung von Erhlatungsmaßnahmen an Straßenbefestigungen*. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Sep. 2001.
- [49] *RVS 03.08.63 Straßenplanung – Bautechnische – Bautechnische Details – Oberbaubemessung*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Feb. 2021.
- [50] *RVS 11.06.61 Grundlagen – Prüfverfahren – Feldprüfungen – Drainverhalten mit dem Ausflußmeßgerät*. (Ausgabe 1. November 2004). Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 1995.
- [51] *RVS 11.06.62 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Ebenheitsmessungen*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Sep. 2012.
- [52] *RVS 11.06.63 Grundlagen – Prüfverfahren – Feldprüfungen – Deflektionsmessungen*. (Ausgabe 1. November 2004). Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 1995.
- [53] *RVS 11.06.64 Grundlagen – Prüfverfahren – Feldprüfungen – Rollgeräuschmessungen*. (Ausgabe 1. November 2004). Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Apr. 1997.
- [54] *RVS 11.06.65 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 2004.
- [55] *RVS 11.06.66 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Lasertexturmessungen mit dem System RoadSTAR*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 2004.
- [56] *RVS 11.06.67 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Querebenheitsmessungen mit dem System RoadSTAR*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 2004.
- [57] *RVS 11.06.68 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Technische Anforderungen bei Längsebenheitsmessungen*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2021.
- [58] *RVS 11.06.69 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Digitale Hochgeschwindigkeitsbilderfassung der Fahrbahnoberfläche mit dem System RoadSTAR (Merkblatt)*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Apr. 2009.
- [59] *RVS 11.06.71 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Griffigkeitsmessungen mit dem Griptester (Merkblatt)*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Juni 2009.
- [60] *RVS 11.06.72 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Fahrbahnoberfläche – Tragfähigkeitsmessungen mit dem Fallgewichtsdeflektometer*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Apr. 2018.
- [61] *RVS 11.06.74 Qualitätssicherung Bau – Prüfungen – Technische Anforderungen bei Griffigkeitsmessungen (Merkblatt)*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 2013.

- [62] *RVS 13.01.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Pavement Management – Zustandsbeschreibung und mögliche Schadensursachen von Asphalt- und Betonstraßen*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2009.
- [63] *RVS 13.01.13 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Pavement Management – Bestimmung von Längenebenheitsindizes*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2021.
- [64] *RVS 13.01.15 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauliche Straßenerhaltung – Pavement Management – Beurteilungskriterien für Straßenzustandserfassung*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Okt. 2022.
- [65] *RVS 13.01.15 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Pavement Management – Beurteilungskriterien für messtechnische Zustandserfassung mit dem System RoadSTAR*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Mai 2006.
- [66] *RVS 13.01.16 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauliche Straßenerhaltung – Pavement Management – Bestimmung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Okt. 2022.
- [67] *RVS 13.01.16 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Pavement Management – Bewertung von Oberflächenschäden und Rissen auf Asphalt- und Betondecken*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Nov. 2012.
- [68] *RVS 13.01.41 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauliche Straßenerhaltung – Asphaltstraßen – Grundlagen für Zustands- und Maßnahmenbeurteilung*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Juli 2015.
- [69] *RVS 13.03.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßenbrücken*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Okt. 2011.
- [70] *RVS 13.03.31 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßentunnel – Baulich konstruktive Teile*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), März 2013.
- [71] *RVS 13.03.41 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Überwachung, Kontrolle und Prüfung von Kunstbauten – Straßentunnel – Betriebs- und Sicherheitseinrichtungen*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Juli 2014.
- [72] *RVS 13.04.01 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Allgemeiner Teil*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2009.
- [73] *RVS 13.04.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Brückenbauwerke*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2009.
- [74] *RVS 13.04.22 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Galerien und Tunnel in offener Bauweise*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2009.
- [75] *RVS 13.04.22 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Straßentunnel in geschlossener Bauweise*. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Aug. 2009.

- [76] *RVS 13.04.23 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Bauwerksdatenbank – Betriebs- und sicherheitstechnische Einrichtungen Tunnel.* (zurückgezogen per 01.01.2021). Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Juli 2014.
- [77] *RVS 13.05.11 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Entwurf und Planung – Lebenszykluskostenermittlung für Brücken.* Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), März 2017.
- [78] *RVS 13.05.31 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Entwurf und Planung – Ablöse – Ablösekostenermittlung für Brücken.* Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Apr. 2018.
- [79] *RVS 13.05.31 Qualitätssicherung bauliche Erhaltung – Entwurf und Planung – Bewertung – Bewertung des Anlagevermögens der Straßeninfrastruktur (Merkblatt).* Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße – Schiene – Verkehr (FSV), Juli 2021.
- [80] Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH. *Key Performance Indicator (KPI).* 2022. URL: <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/key-performance-indicator-kpi-52670/version-275788> (Zugriff am 28. 12. 2022).
- [81] C. Stefan, U. H. Grunicke, M. Kriegisch und S. Jung. *AMBITION – Entwicklung eines integrativen Ansatzes zur Messung und Bewertung von Eisenbahn- und Straßentunnel. Ergebnisbericht.* Forschungsber. Herausgeber: Verkehrsinfrastrukturforschung (VIF), 2018. 287 S.
- [82] C. Stefan, U. H. Grunicke, V. Prändl-Zika, A. Weninger-Vycudil, A. Hula, A. Van Linn, B. Brozek, D. Prammer und L. D. Mellert. *OptimAL – Optimierte Instandsetzungsplanung der tunnelspezifischen baulichen und elektromaschinellen Ausrüstung mittels LCA. Ergebnisbericht.* Forschungsber. Herausgeber: Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK), ÖBB-Infrastruktur AG und Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG), 2020. 173 S.
- [83] A. G. Taylor. *SQL für Dummies.* 7. überarbeitete und aktualisierte Auflage. Übersetzt von R. Engel und M. Schmidt, überarbeitet von G. Franken. Weinheim: Wiley-VCH, 2017. ISBN: 978-3-527-71412-4.
- [84] *Voranschlags- und Rechnungsabschlussverordnung 2015 (VRV 2015) i.d.F. vom 23.01.2018 (BGBl. II Nr. 17/2018).* Österreich, Jan. 2018.
- [85] A. Weninger-Vycudil. „Entwicklung von Systemelementen für ein österreichisches PMS“. Dissertation. TU Wien, 2001.
- [86] A. Weninger-Vycudil und B. Brozek. *Bewertung Straßenoberbau auf Grundlage von standardisierten Lebenszyklen – Standard-Life-Cycle-Assessment (S-LCA).* (Entwurf, unveröffentlicht). Wien: Im Auftrag von: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG), 2019–2020.
- [87] A. Weninger-Vycudil, B. Brozek, T. Kessel, J. Kutz, B. Chylik, C. Schranz, D. Prammer, A. Vorwagner, P. Curschellas und R. Bühlmann. *Technische Anlagenbewertung im Asset-Management (TAniA). Deliverable 2.1: Bericht AP 2, Status Quo Erhebung D-A-CH.* Forschungsber. (unveröffentlicht). Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), Juni 2019. 93 S.

- [88] A. Weninger-Vycudil, B. Brozek, T. Kessel, J. Kutz, B. Chylik, C. Schranz, D. Prammer, A. Vorwagner, P. Curschellas und R. Bühlmann. *Technische Anlagenbewertung im Asset-Management (TAniA). Deliverable 3.1: Bericht AP 3, Holistischer Bewertungsrahmen*. Forschungsber. (unveröffentlicht). Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), Nov. 2019. 62 S.
- [89] A. Weninger-Vycudil, B. Brozek, T. Kessel, J. Kutz, B. Chylik, C. Schranz, D. Prammer, A. Vorwagner, P. Curschellas und R. Bühlmann. *Technische Anlagenbewertung im Asset-Management (TAniA). Deliverable 4.1: Bericht AP 4, Dynamische Lebenszyklen der Straßeninfrastruktur*. Forschungsber. (unveröffentlicht). Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), Dez. 2020. 122 S.
- [90] A. Weninger-Vycudil, B. Brozek, T. Kessel, J. Paderski, J. Sietas, B. Chylik, C. Schranz, D. Prammer, A. Vorwagner, P. Curschellas und R. Bühlmann. *Technische Anlagenbewertung im Asset-Management (TAniA). Endbericht*. Forschungsber. Herausgeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI), Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie und Mobilität (BMK) und Bundesamt für Strassen (ASTRA), Juli 2021. 276 S.
- [91] A. Weninger-Vycudil, B. Brozek, J. Litzka, M. Petschacher und G. Maerschalk. *ELISA<sup>ASFINAG</sup> – Erhaltungsziel integraler Substanzwert im Anlagenmanagement der ASFINAG. Schlussbericht*. Forschungsber. im Auftrag von: Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG) und Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), 2014. 137 S.
- [92] A. Weninger-Vycudil, B. Brozek, P. Simanek und J. Litzka. *Handbuch Pavement Management in Österreich. Version 2016*. Interner Technischer Bericht. (unveröffentlicht). Im Auftrag von: Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Bundesstraßenverwaltung und Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft (ASFINAG), Nov. 2019. 119 S.
- [93] A. Weninger-Vycudil, A. Leszczynska und T. Moser. *Lebenszyklusanalyse Brücken 2019 – Konfigurationsdokument Aktualisierung Lebenszyklusanalyse IMT Brücken*. (unveröffentlicht). Wien, 2020.
- [94] A. Weninger-Vycudil, P. Simanek, T. Rohringer und J. Haberl. *Handbuch Pavement Management in Österreich*. Hrsg. von B. Bundesministerium für Verkehr Innovation und Technologie. Heft 584. Wien: Österreichische Forschungsgesellschaft Straße–Schiene–Verkehr, 2009.
- [95] T. Zinke. *Nachhaltigkeit von Infrastrukturbauwerken – Ganzheitliche Bewertung von Autobahnbrücken unter besonderer Berücksichtigung externer Effekte*. Hrsg. von Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Band 4. Karlsruhe: KIT Scientific Publishing, 2016. ISBN: 978-3-7315-0509-9. DOI: 10.5445/KSP/1000053695.

# Abbildungsverzeichnis

2.1	Normierungsfunktionen der Zustandswerte (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92]) . . . . .	35
a	Zustandswert Spurrinnen . . . . .	35
b	Zustandswert Längsebenheit . . . . .	35
c	Zustandswert Griffigkeit . . . . .	35
d	Zustandswert Oberflächenschäden . . . . .	35
e	Zustandswert Risse . . . . .	35
2.2	Ausschnitt aus der Datenbank für elektrotechnische und maschinelle Ausrüstung in Tunneln im Zuge des Forschungsprojekt <i>OPTimAL</i> (Quelle: Stefan et al. [82, S. 81]) . . . . .	55
2.3	Übersicht der möglichen Verfahren der Investitionsrechnung für Einzelentscheidungen nach Götze und Bloech [34] . . . . .	56
2.4	Übersicht der möglichen Verfahren der Investitionsrechnung für Einzelentscheidungen	57
3.1	Übersicht Zustandsverlauf und technischer Anlagenwert im Lebenszyklus (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, 28 f.]) . . . . .	63
3.2	Schematische Darstellung des Konstruktions- und Ausrüstungsindikators (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 67]) . . . . .	65
3.3	Übersicht der Anwendungsebenen am Beispiel des österreichischen Straßennetzes	66
3.4	Schematische Darstellung der Erhaltungsintervalle für Konstruktion und Ausrüstung (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 105]) . . . . .	71
3.5	Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Asphalt, kurze Lebensdauer Deckschicht (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 111]) . . . . .	73
3.6	Standardlebenszyklus Brücke – 60 Jahre Nutzungsdauer (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 118]) . . . . .	74
3.7	Standardlebenszyklus Tunnel – Bergmännische (geschlossene) Bauweise (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 120]) . . . . .	76
3.8	Definition der Zeitpunkte für Anpassung des Lebenszyklus (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 132]) . . . . .	78
3.9	Auswahl Konstruktions-(Erhaltungs)intervall (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 126]) . . . . .	79
3.10	Auswahl Ausrüstungsintervall (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 128]) .	80
3.11	Definition der Dauer bis zur nächsten Erhaltungsmaßnahme (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 130]) . . . . .	82
3.12	Ablauf zur Berechnung des technischen Anlagenwert . . . . .	83
3.13	Zusammenhang Zustand und technischer Anlagenwert – stufenförmig (rechts oben) und interpoliert (rechts unten) (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 163])	86
3.14	Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für den Straßenoberbau (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90]) . . . . .	87
a	Verlauf Ausrüstungsindikator . . . . .	87
b	Verlauf Konstruktionsindikator . . . . .	87

3.15	Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für Brücken (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90]) . . . . .	89
a	Verlauf Randbalken, Lager, Abdichtung, Entwässerung und sonst. Ausrüstung . . . . .	89
b	Verlauf Fahrbahnübergangskonstruktion . . . . .	89
c	Verlauf Unterbau . . . . .	89
d	Verlauf Überbau . . . . .	89
3.16	Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für Tunnel (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90]) . . . . .	91
a	Verlauf erhöhter Seitenstreifen, Abdichtung, Entwässerung und sonst. Ausrüstung . . . . .	91
b	Verlauf E&M-Ausrüstung . . . . .	91
c	Verlauf Tunnelröhre, Fluchtwege, Nischen und Schächte . . . . .	91
d	Verlauf Zwischendecken und Portale . . . . .	91
3.17	Kennzahlen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Erhaltungsstrategien auf Basis des technischen Anlagenwerts (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90]) .	93
3.18	Kennzahlen für Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen von Erhaltungsstrategien auf Basis des technischen Anlagenwerts (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90]) .	95
4.1	Beispiel einer 1:n-Tabelle [18, S. 15] . . . . .	99
4.2	Beispiel des <b>Expression Editor</b> [47, S. 10] . . . . .	102
4.3	Graphische Darstellung von <b>Analysis Variables</b> [9] . . . . .	105
5.1	Ausschnitt aus der Master-Tabelle <i>P_LCCA_hom</i> für Lebenszyklusanalysen des Straßenoberbaus . . . . .	114
5.2	Aufteilung der vorhandenen Datensätze des Straßenoberbaus gemäß Master-Tabelle	116
5.3	Ausschnitt aus der Master-Tabelle <i>BA_Eingangsdaten_LCCA</i> für Lebenszyklusanalysen von Brücken . . . . .	117
5.4	Aufteilung der vorhandenen Datensätze der Brücken gemäß Master-Tabelle . . .	118
5.5	Ausschnitt aus der Master-Tabelle <i>T_Analyse</i> für Lebenszyklusanalysen von Tunnel gemäß Forschungsprojekt <i>OPTiMAL</i> . . . . .	119
5.6	Aufteilung der vorhandenen Datensätze der Tunnel gemäß Master-Tabelle . . . .	121
5.7	Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert – Unterbau . . . . .	122
5.8	Berechnung der <b>Analysis Expression</b> <i>B_aN_INPUT_TAW_KI</i> in IMT-Bridges	123
5.9	Technischer Anlagenwert normiert und monetär je Anlagentyp für das Gesamtnetz	126
6.1	Technischer Anlagenwert monetär und normiert für das Gesamtnetz im Betrachtungszeitraum . . . . .	130
6.2	Technischer Anlagenwert monetär und normiert für das Gesamtnetz im Betrachtungszeitraum . . . . .	131
6.3	Verteilung des Straßenoberbaus nach Länge je Kategorie des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum . . . . .	132
6.4	Verteilung der Brücken nach Länge je Kategorie des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum . . . . .	132
6.5	Verteilung der Tunnel nach Länge je Kategorie des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum . . . . .	132
6.6	Karte der Maut-Korridor (Quelle: Honeger et al. [37, S. 12]) . . . . .	134
6.7	Längenanteile von Oberbau, Brücke und Tunnel je Maut-Korridor . . . . .	134
6.8	Anteile am Erneuerungswert von Oberbau, Brücke und Tunnel je Maut-Korridor	134

6.9	Normierter technischer Anlagenwert je Maut-Korridor im Betrachtungszeitraum .	135
6.10	Normierter und monetärer technischer Anlagenwert von zufällig ausgewählten Anlagen je Anlagentyp im Betrachtungszeitraum . . . . .	136
6.11	Darstellung des normierten technischen Anlagenwerts einer zufällig ausgewählten Anlage im Betrachtungszeitraum über <b>Review and Adjust</b> in dTIMS . . . . .	137
6.12	Technischer Anlagenwert des Straßenabschnitts <i>A04_1/37225</i> im Betrachtungszeitraum . . . . .	137
6.13	Technischer Anlagenwert von Brücke <i>A002302BXX046880_219</i> im Betrachtungszeitraum . . . . .	138
6.14	Technischer Anlagenwert von Tunnel <i>A09_R_169.588_0105</i> im Betrachtungszeitraum . . . . .	138
6.15	Anteile des Gebrauchs- und Substanzwerts von Haupt- und Nebenfahstreifen am technischen Anlagenwert des Straßenabschnitts <i>A04_1/37225</i> im Betrachtungszeitraum . . . . .	139
6.16	Anteile der Bauteile am technischen Anlagenwert von Brücke <i>A002302BXX046880_219</i> im Betrachtungszeitraum . . . . .	140
6.17	Anteile der Bauteile am technischen Anlagenwert von Tunnel <i>A09_R_169.588_0105</i> im Betrachtungszeitraum . . . . .	141
	a    Anlagenteile Tunnel baulich und E&M-Gewerke 01 bis 14 . . . . .	141
	b    Anlagenteile Tunnel E&M-Gewerke 15 bis 42 . . . . .	141
6.18	Gegenüberstellung des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum mit unterschiedlichen Budgetvarianten laut PMS . . . . .	143
6.19	Gegenüberstellung des normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum mit unterschiedlichen Budgetvarianten laut BMS . . . . .	144
6.20	Histogramm der Baujahre der Brücken des österreichischen Netzes gemäß BMS .	146
6.21	Histogramm der Brückenfläche des österreichischen Netzes gemäß BMS . . . . .	146
6.22	Gegenüberstellung des jährlichen Investitionsbudgets im Betrachtungszeitraum .	148
6.23	Gegenüberstellung des monetären und normierten technischen Anlagenwerts im Betrachtungszeitraum . . . . .	148
6.24	Effektivitätsdiagramme der unterschiedlichen Budgetvarianten . . . . .	149
	a    Budget mit BPR und 140 Mio.e . . . . .	149
	b    Budget unlimitiert mit SLZ . . . . .	149
	c    Budget mit BPR und 235 Mio.e . . . . .	149
6.25	Grafischer Zusammenhang von Zustand und technischem Anlagenwert für die Gesamtnote bei Brücken (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 200]) . . . . .	150
6.26	Verteilung der Brückentragwerke je Bauart des ASFINAG-Netzes 2020 (gemäß <i>Statistik Straße und Verkehr</i> [7]) . . . . .	151
	a    Verteilung nach Anzahl . . . . .	151
	b    Verteilung nach Fläche . . . . .	151
6.27	Normierter technischer Anlagenwert für alle Brücken des ASFINAG-Netzes je Budgetszenario . . . . .	152
	a    Berechnung des technischen Anlagenwerts auf Basis der Bauteilnoten . .	152
	b    Berechnung der technischen Anlagenwerts auf Basis der Bauwerksnoten .	152
A.1	Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Asphalt, konventionelle Deckschicht (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 110]) . . . . .	191
A.2	Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Asphalt, lange Lebensdauer Deckschicht (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 112]) . . . . .	192

A.3	Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Betonoberbau (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 113]) . . . . .	192
A.4	Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Beton mit Asphaltdeckschicht (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 114]) . . . . .	193
A.5	Standardlebenszyklus Brücke – ca. 70 Jahre Nutzungsdauer (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 116]) . . . . .	193
A.6	Standardlebenszyklus Brücke – ca. 80 Jahre Nutzungsdauer (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 117]) . . . . .	194
A.7	Standardlebenszyklus Tunnel – offene Bauweise, Unterflurtrassen (Quelle: modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 121]) . . . . .	195

# Tabellenverzeichnis

2.1	Oberflächenschäden bei Asphaltdecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach <i>RVS 13.01.16</i> [67]) . . . . .	28
2.2	Oberflächenschäden bei Betondecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach <i>RVS 13.01.16</i> [67]) . . . . .	28
2.3	Risse bei Asphaltdecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach <i>RVS 13.01.16</i> [67]) . . . . .	29
2.4	Risse bei Betondecken – Schadensausmaß und Schadensschwere (modifiziert nach <i>RVS 13.01.16</i> [67]) . . . . .	30
2.5	Bautypenzuordnung für Zustandsbewertung (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92]) . . . . .	31
2.6	Schichtkoeffizienten Asphaltbauweise (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92])	32
2.7	Normierungsparameter für die Ermittlung der Zustandswerte . . . . .	34
2.8	Zustandsklasseneinteilung (modifiziert nach Weninger-Vycudil et al. [92]) . . . . .	34
2.9	Faktoren Alter Asphaltdecken (nach Weninger-Vycudil et al. [92]) . . . . .	37
2.10	Gewichtungsfaktoren Gesamtwert (nach Weninger-Vycudil et al. [92]) . . . . .	38
2.11	Notensystem zur Bewertung des Erhaltungszustands (modifiziert nach <i>RVS 13.03.31</i> [70]) . . . . .	44
2.12	Gesamtnote der elektrotechnischen und maschinellen Ausrüstung im Tunnel (modifiziert nach <i>RVS 13.03.41</i> [71]) . . . . .	46
2.13	Teilnote technischer Anlagen-Istzustand ( $TAZ_i$ ) (modifiziert nach <i>RVS 13.03.41</i> [71])	47
2.14	Teilnote Ersatzteilverfügbarkeit ( $EV_i$ ) (modifiziert nach <i>RVS 13.03.41</i> [71]) . . . . .	47
2.15	Teilnote Alter ( $ALT_i$ ) (modifiziert nach <i>RVS 13.03.41</i> [71]) . . . . .	47
2.16	Durchschnittliche Nutzungsdauer von E&M-Ausrüstung im Tunnel (modifiziert nach <i>RVS 13.03.41</i> [71, 10 f.]) . . . . .	48
2.16	Durchschnittliche Nutzungsdauer von E&M-Ausrüstung im Tunnel (Fortsetzung)	49
3.1	Zuordnung der Bauteile zur Konstruktion bzw. Ausrüstung für Österreich (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 69 ff.]) . . . . .	68
3.2	Auswahlparameter der standardisierten Lebenszyklen des Straßenoberbaus (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 109]) . . . . .	72
3.3	Auswahlparameter der standardisierten Lebenszyklen für Brücken (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 115]) . . . . .	74
3.4	Auswahlparameter der standardisierten Lebenszyklen für Tunnel (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 119]) . . . . .	75
3.5	Anteile der betroffenen Anlagenteile an Erhaltungsmaßnahmen für Tunnel-Standardlebenszyklen (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 120 f.]) . . . . .	77
3.6	Qualitativer Zusammenhang zw. technischem Anlagenwert und Zustand für den Straßenoberbau (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 166]) . . . . .	87
3.7	Qualitativer Zusammenhang zw. technischem Anlagenwert und Zustand für Brücken (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 166]) . . . . .	88
3.8	Qualitativer Zusammenhang zw. technischem Anlagenwert und Zustand für Tunnel (modifiziert nach <i>TAniA</i> -Endbericht [90, S. 166]) . . . . .	90

3.9	Kategorisierung für den normierten technischen Anlagenwert . . . . .	93
4.1	dTIMS Attributes . . . . .	100
4.2	dTIMS Transformation Classes . . . . .	103
4.3	Erforderliche Angaben beim Anlegen von Treatments in dTIMS [28] . . . . .	106
5.1	Ergänzende Attribute in der Master-Tabelle des TMS . . . . .	122
5.2	Ergänzende Analysis Expressions in der dTIMS-Datenbank IMT-Bridges . . . . .	123
5.3	Ergänzende Analysis Variables in der dTIMS-Datenbank IMT-Bridges . . . . .	124
5.4	Technischer Anlagenwert ( $TAW_t$ [€]) und Erneuerungswert ( $EW_{t_A}$ [€]) je Anlagentyp für das Gesamtnetz in Mio. . . . .	127
6.1	Anteil des jährlichen Investitionsbudgets am Erneuerungswert ( $EW$ ) . . . . .	147
6.2	Abweichung des normierten technischen Anlagenwerts zwischen der Berechnung mit Bauteilnoten und Bauwerksnoten im Betrachtungszeitraum . . . . .	153
B.1	Kostenansätze für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten des Straßenoberbaus (modifiziert nach [5]) . . . . .	197
B.2	Kostenansätze für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten bei Brücken (modifiziert nach [5]) . . . . .	197
B.3	Kostenansätze für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten bei Straßentunneln (modifiziert nach [5] und [90]) . . . . .	197
B.3	Kostenansätze für Erneuerungskosten bei Straßentunneln (Fortsetzung) . . . . .	198
B.3	Kostenansätze für Erneuerungskosten bei Straßentunneln (Fortsetzung) . . . . .	199
B.4	Ergänzende Attribute in der Master-Tabelle des BMS . . . . .	200
B.5	Ergänzende Attribute in der Master-Tabelle des PMS . . . . .	200
B.6	Ergänzende Analysis Expressions in der dTIMS-Datenbank des PMS . . . . .	201
B.7	Ergänzende Analysis Expressions in der dTIMS-Datenbank des TMS . . . . .	201
B.8	Ergänzungen der INPUT-Analysis Expressions im PMS . . . . .	202
B.9	Ergänzungen der Analysis Expressions im PMS . . . . .	203
B.10	Ergänzungen der INPUT-Analysis Expressions im BMS . . . . .	204
B.10	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung) . . . . .	205
B.10	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung) . . . . .	206
B.10	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung) . . . . .	207
B.11	Ergänzungen der Analysis Expressions im BMS . . . . .	207
B.11	Ergänzende der Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung) . . . . .	208
B.11	Ergänzende der Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung) . . . . .	209
B.11	Ergänzende der Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung) . . . . .	210
B.12	Ergänzungen der INPUT-Analysis Expressions im TMS . . . . .	210
B.12	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	211
B.12	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	212
B.12	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	213
B.12	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	214
B.12	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	215
B.12	Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	216
B.13	Ergänzungen der Analysis Expressions im TMS . . . . .	217
B.13	Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	218
B.13	Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	219
B.13	Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	220
B.13	Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	221

---

B.13 Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung) . . . . .	222
---	-----

# Formelsammlung

## Formeln zur Zustandserfassung und -bewertung:

$$ZG_{SR} = \max \left[ \overline{MG}_{SR,links}; \overline{MG}_{SR,rechts} \right] \quad (2.1)$$

mit

- $ZG_{SR}$  ... Zustandsgröße Spurrinnen [mm] für 50-m-Abschnitt
- $\overline{MG}_{SR,links}$  ... Mittelwert der Messgröße Spurrinnen linke Radspur [mm]
- $\overline{MG}_{SR,rechts}$  ... Mittelwert der Messgröße Spurrinnen rechte Radspur [mm]

$$ZG_{OS,Asphalt} = \frac{\sum_i (AM_{OS,i} \cdot G_{OS,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.2)$$

mit

- $ZG_{OS,Asphalt}$  ... Zustandsgröße Oberflächenschäden in Asphaltdecken [%]
- $AM_{OS,i}$  ... Schadensausmaß des Merkmals  $i$  [m<sup>2</sup>]
- $G_{OS,i}$  ... Gewicht Schadensschwere des Merkmals  $i$
- $A_B$  ... Bezugsfläche [m<sup>2</sup>]

$$ZG_{OS,Beton} = \frac{\sum_i (AM_{OS,i} \cdot G_{OS,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.3)$$

mit

- $ZG_{OS,Beton}$  ... Zustandsgröße Oberflächenschäden in Betondecken [%]
- $AM_{OS,i}$  ... Schadensausmaß des Merkmals  $i$  [m<sup>2</sup>]
- $G_{OS,i}$  ... Gewicht Schadensschwere des Merkmals  $i$
- $A_B$  ... Bezugsfläche [m<sup>2</sup>]

$$ZG_{RI,Asphalt} = \frac{0,5 \cdot \sum_i (AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i}) + \sum_i (AMA_{RI,i} \cdot G_{RI,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.4)$$

mit

- $ZG_{RI,Asphalt}$  ... Zustandsgröße Risse in Asphaltdecken [%]
- $AML_{RI,i}$  ... Schadensausmaß (Längenwert) des Merkmals  $i$  [m]
- $G_{RI,i}$  ... Gewicht Schadensschwere des Merkmals  $i$
- $AMA_{RI,i}$  ... Schadensausmaß (Flächenwert) des Merkmals  $i$  [m<sup>2</sup>]
- $A_B$  ... Bezugsfläche [m<sup>2</sup>]

$$ZG_{RI,Beton} = \frac{0,5 \cdot \sum_i (AML_{RI,i} \cdot G_{RI,i})}{A_B} \cdot 100 \quad (2.5)$$

mit

- $ZG_{RI,Beton}$  ... Zustandsgröße Risse in Betondecken [%]
- $AML_{RI,i}$  ... Schadensausmaß (Längenwert) des Merkmals  $i$  [m]
- $G_{RI,i}$  ... Gewicht Schadensschwere des Merkmals  $i$
- $A_B$  ... Bezugsfläche [m<sup>2</sup>]

$$ZG_{\text{Tragf}} = K_{\text{Tragf}} \cdot \frac{e^{-3,6017+0,1 \cdot (J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}}) + \ln(J_{\text{akt}} - J_{\text{rechn}} + 0,01)}}{VBI \cdot K_{\text{BemPer}}} \cdot K_{\text{Risse}} \quad (2.6)$$

mit

- $ZG_{\text{Tragf}}$  ... Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%] mit  $[0 \leq ZG_{\text{Tragf}} \leq 100]$   
 $J_{\text{akt}}$  ... aktuelles Jahr der Analyse bzw. Untersuchung [Jahr]  
 $J_{\text{rechn}}$  ... rechnerisches Oberbaujahr [Jahr]  
 $K_{\text{Tragf}}$  ... Kalibrierfaktor Zustandsgröße Tragfähigkeit [dimensionslos] mit  $[0,3 \leq K_{\text{Tragf}} \leq 1,0]$   
 $K_{\text{BemPer}}$  ... Kalibrierfaktor Bemessungsperiode [dimensionslos]  
 mit  $K_{\text{BemPer}} = 1,5$  für Autobahnen und Schnellstraßen in Asphaltbauweise  
 und  $K_{\text{BemPer}} = 1,0$  für Betonbauweise und sonstige Asphaltstraßen  
 $K_{\text{Risse}}$  ... Kalibrierfaktor Risse [dimensionslos] lt. Weninger-Vycudil et al. [92, S. 83]  
 mit  $[0,005 \leq K_{\text{Risse}} \leq 0,7]$

$$D_{\text{GebSch}} = \sum_i S_i D \cdot S_i T S_{\text{As}} \quad (2.7)$$

$$J_{\text{rechn,As}} = \frac{\sum_i S_i D \cdot S_i J \cdot S_i T S_{\text{As}}}{D_{\text{GebSch}}} \quad (2.8)$$

$$TZ_0 = \sum_i (S_i D \cdot S_i K) + UG \quad [11 \leq TZ_0 \leq 25] \quad (2.9)$$

$$NLW_{\text{zul},0} = 45,5 \cdot 10^{-6} \cdot e^{0,741 \cdot TZ_0} \quad (2.10)$$

$$VBI = \frac{NLW_{\text{zul},0}}{NLW_{\text{kum},n}} \quad [0,5 \leq VBI \leq 3] \quad (2.11)$$

mit

- $D_{\text{GebSch}}$  ... Dicke der gebundenen Schichten [cm]  
 $J_{\text{rechn,As}}$  ... rechnerisches Oberbaujahr für Asphaltdecke [Jahr]  
 $TZ_0$  ... Tragfähigkeitszahl Zeitpunkt des rechnerischen Oberbaujahrs (= Zeitpunkt 0) [dimensionslos]  
 $NLW_{\text{zul},0}$  ... zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [dimensionslos]  
 $NLW_{\text{kum},n}$  ... kumulierte Normlastwechsel zum Zeitpunkt  $n$  innerhalb der Bemessungsperiode in Mio. [dimensionslos]  
 $S_i D$  ... Dicke Schicht  $i$  [cm]  
 $S_i J$  ... Herstellungsjahr Schicht  $i$  [Jahr]  
 $S_i T S_{\text{As}}$  ... Schichtzahl [dimensionslos] für Asphaltdecken:  $S_i T S = 1$  für gebundene Schicht mit  $S_{i-1} T S > 0$ ;  $S_i T S = 0$  für sonstige Schichten und alten Asphalttschichten mit  $S_i J \leq S_{i-1} J + 20$  und  $i \geq 4$   
 $S_i K$  ... Schichtkoeffizient Schicht  $i$  [dimensionslos]  
 $UG$  ... Untergrundtragfähigkeit (Standardwert = 2,4) [dimensionslos]

$$D_{\text{Beton}} = \sum_i S_i D \cdot S_i T S_{\text{Be}} \quad (2.12)$$

$$NLW_{\text{zul},0} = 5,48 \cdot 10^{-3} \cdot e^{0,3592 \cdot D_{\text{Beton}}} \quad [0,4 \leq NLW_{\text{zul},0} \leq 200] \quad (2.13)$$

$$VBI = \frac{NLW_{\text{zul},0}}{NLW_{\text{kum},n}} \quad [0,5 \leq VBI \leq 3] \quad (2.11)$$

$$J_{\text{rechn,Be}} = S_{1,\text{Be}} J \cdot S_i T S_{\text{Be}} \quad (2.14)$$

mit

- $D_{\text{Beton}}$  ... Gesamtdicke Betondecke [cm]
- $J_{\text{rechn,Be}}$  ... rechnerisches Oberbaujahr für Betondecke [Jahr]
- $NLW_{\text{zul},0}$  ... zulässige Normlastwechsel zum Zeitpunkt 0 in Mio. [dimensionslos]
- $NLW_{\text{kum},n}$  ... kumulierte Normlastwechsel zum Zeitpunkt  $n$  innerhalb der Bemessungsperiode in Mio. [dimensionslos]
- $VBI$  ... Verkehrsbelastungskoeffizient [dimensionslos]
- $S_i D$  ... Dicke Schicht  $i$  [cm]
- $S_{1,\text{Be}} J$  ... Herstellungsjahr der obersten Betondecke [Jahr]
- $S_i T S_{\text{Be}}$  ... Schichtzahl [dimensionslos] für Betondecken:  $S_i T S = 1$  für Betondecke mit  $S_{i-1} T S > 0$  ausgenommen  $S_{i-1} =$  bituminöser Überzug;  $S_i T S = 0$  für sonstige Schichten

$$ZW_i = d_i + k_i \cdot ZG_i \quad [ZW_{i,\text{min}} \leq ZW_i \leq ZW_{i,\text{max}}] \quad (2.15)$$

mit

- $ZW_i$  ... Zustandswert des Merkmals  $i$  [dimensionslos]
- $ZW_{i,\text{min}}$  ... Untere Grenze für den Zustandswert der Merkmals  $i$  [dimensionslos]
- $ZW_{i,\text{max}}$  ... Obere Grenze für den Zustandswert der Merkmals  $i$  [dimensionslos]
- $ZG_i$  ... Zustandsgröße des Merkmals  $i$
- $d_i, k_i$  ... Normierungsparameter der Merkmals  $i$

$$GI_{\text{Sicherheit}} = \max [ZW_{\text{SR}}; ZW_{\text{GR}}] + 0,1 \cdot \min [ZW_{\text{SR}}; ZW_{\text{GR}}] - 0,1 \quad (2.16)$$

$$GI_{\text{Komfort}} = \max [ZW_{\text{LE}}; 1 + 2,1875 \cdot 10^{-3} \cdot ZG_{\text{OS}}^2] + 0,1 \cdot \min [ZW_{\text{LE}}; 1 + 2,1875 \cdot 10^{-3} \cdot ZG_{\text{OS}}^2] - 0,1 \quad (2.17)$$

$$GI = \max [GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}] + 0,1 \cdot \min [GI_{\text{Sicherheit}}; GI_{\text{Komfort}}] - 0,1 \quad (2.18)$$

mit

- $GI_{\text{Sicherheit}}$  ... Gebrauchsteilwert Sicherheit [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI_{\text{Sicherheit}} \leq 5,0]$
- $GI_{\text{Komfort}}$  ... Gebrauchsteilwert Komfort [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI_{\text{Komfort}} \leq 5,0]$
- $GI$  ... Gebrauchswert (gesamt) [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI < 5,0]$
- $ZW_{\text{SR}}$  ... Zustandswert Spurrinnen [dimensionslos]
- $ZW_{\text{LE}}$  ... Zustandswert Längsebenheit [dimensionslos]
- $ZW_{\text{GR}}$  ... Zustandswert Griffigkeit [dimensionslos]
- $ZG_{\text{OS}}$  ... Zustandsgröße Oberflächenschäden [%]

$$SI = \frac{SI_{\text{Deck}} \cdot D_{\text{Deck}} + SI_{\text{Tragf}} \cdot D_{\text{GebSch}}}{D_{\text{GebSch}} + D_{\text{Deck}}} \quad (2.19)$$

bzw. für  $D_{\text{Deck}} = D_{\text{GebSch}}$  oder  $Bautype = BE\_N$ :

$$SI = \frac{SI_{\text{Deck}} + SI_{\text{Tragf}}}{2} \quad (2.20)$$

mit

- $SI$  ... Substanzwert (gesamt) [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq SI \leq 5,0]$
- $SI_{\text{Deck}}$  ... Substanzteilwert Decke [dimensionslos]
- $SI_{\text{Tragf}}$  ... Substanzteilwert theoretische Tragfähigkeit [dimensionslos]
- $D_{\text{Deck}}$  ... Dicke der Deckschicht [cm]
- $D_{\text{GebSch}}$  ... Dicke der gebundenen Schichten [cm]

$$SI_{\text{Deck,As,1}} = \max(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) - 0,1 \quad (2.21)$$

$$SI_{\text{Deck,As,2}} = \max \left[ \min \left( 1 + 109,38 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{\text{SR}}^3; 5 \right); \min \left( 1 + 38\,409,88 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{\text{LE}}^3; 5 \right) \right] \quad (2.22)$$

$$SI_{\text{Deck,As,3}} = \min(0,08 \cdot ZW_{\text{RI}} + 0,61; 0,85) \cdot ZW_{\text{Alter,As}} \quad (2.23)$$

$$ZW_{\text{Alter,As}} = f_{\text{As}} \cdot \text{Alter}_{\text{Decke}} - 0,17 \quad [1,0 \leq ZW_{\text{Alter,As}} \leq 5,0] \quad (2.24)$$

$$SI_{\text{Deck,As}} = \max[SI_{\text{Deck,As,1}}; SI_{\text{Deck,As,2}}; SI_{\text{Deck,As,3}}] \quad [1,0 \leq SI_{\text{Deck,As}} \leq 5,0] \quad (2.25)$$

mit

- $SI_{\text{Deck,As}}$  ... Substanzteilwert Decke [dimensionslos] für Oberbaukonstruktion aus Asphalt
- $ZW_{\text{RI}}$  ... Zustandswert Risse [dimensionslos]
- $ZW_{\text{OS}}$  ... Zustandswert Oberflächenschäden [dimensionslos]
- $ZG_{\text{SR}}$  ... Zustandsgröße Spurrinnen [mm] für 50-m-Abschnitt
- $ZG_{\text{LE}}$  ... Zustandsgröße Längsebenheit [m/km]
- $ZW_{\text{Alter,As}}$  ... Zustandswert Alter für Asphaltdecken [dimensionslos]
- $f_{\text{As}}$  ... Faktor Alter für Asphaltdecken gemäß Tab.2.9 auf Seite 37

$$SI_{\text{Deck,Be,1}} = \max(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) + 0,1 \cdot \min(ZW_{\text{RI}}; ZW_{\text{OS}}) - 0,1 \quad (2.26)$$

$$SI_{\text{Deck,Be,2}} = \max \left[ \min \left( 1 + 109,38 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{\text{SR}}^3; 5 \right); \right. \\ \left. \min \left( 1 + 38\,409,88 \cdot 10^{-6} \cdot ZG_{\text{LE}}^3; 5 \right) \right] \quad (2.27)$$

$$SI_{\text{Deck,Be,3}} = SI_{\text{Tragf}} \quad (2.28)$$

$$SI_{\text{Deck,Be}} = \max [SI_{\text{Deck,Be,1}}; SI_{\text{Deck,Be,2}}; SI_{\text{Deck,Be,3}}] \quad (2.29)$$

mit

- $SI_{\text{Deck}}$  ... Substanzteilwert Decke [dimensionslos]
- $SI_{\text{Tragf}}$  ... Substanzteilwert theoretische Tragfähigkeit [dimensionslos]
- $ZW_{\text{RI}}$  ... Zustandswert Risse [dimensionslos]
- $ZW_{\text{OS}}$  ... Zustandswert Oberflächenschäden [dimensionslos]
- $ZG_{\text{SR}}$  ... Zustandsgröße Spurrinnen [mm] für 50-m-Abschnitt
- $ZG_{\text{LE}}$  ... Zustandsgröße Längsebenheit [m/km]

$$SI_{\text{Tragf}} = 1,0 + 0,35 \cdot ZG_{\text{Tragf}} \quad [1,0 \leq SI_{\text{Tragf}} \leq 5,0] \quad (2.30)$$

mit

- $SI_{\text{Tragf}}$  ... Substanzteilwert theoretische Tragfähigkeit [dimensionslos]
- $ZG_{\text{Tragf}}$  ... Zustandsgröße theoretische Tragfähigkeit [%]

$$GW = \max [W_{\text{GI}} \cdot GI; W_{\text{SI}} \cdot SI] \quad (2.31)$$

mit

- $GW$  ... Gesamtwert [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GW \leq 5,0]$
- $W_{\text{GI}}$  ... Gewichtungsfaktor Gebrauchswert [dimensionslos]
- $GI$  ... Gebrauchswert (gesamt) [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GI < 5,0]$
- $W_{\text{SI}}$  ... Gewichtungsfaktor Substanzwert [dimensionslos]
- $SI$  ... Substanzwert (gesamt) [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq SI \leq 5,0]$

$$GW_i = \frac{TAZ_i \cdot 3,0 + EV_i \cdot 2,0 + ALT_i \cdot 1,0}{6,0} \quad (2.32)$$

mit

- $GW_i$  ... Gesamtwert des Gewerks  $i$  [dimensionslos] mit  $[1,0 \leq GW \leq 5,0]$
- $TAZ_i$  ... Technischer Anlagenzustand des Gewerks  $i$  [dimensionslos]
- $EV_i$  ... Ersatzteilverfügbarkeit des Gewerks  $i$  [dimensionslos]
- $ALT_i$  ... Altersnote des Gewerks  $i$  [dimensionslos]

## Formeln der Finanzmathematik:

$$K^{\text{bar}} = K^{\text{end}} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (2.33)$$

mit

- $K^{\text{bar}}$  ... Barwert (Anfangswert) des Kapitals [€]
- $K^{\text{end}}$  ... Endwert des Kapitals [€]
- $q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]
- $n$  ... Laufzeit [Jahre]

$$q = 1 + \frac{z}{100} - \frac{\pi}{100} \quad (2.34)$$

mit

- $q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]
- $z$  ... Zinssatz [%]
- $\pi$  ... Inflationsrate [%]

$$K^{\text{bar}} = K_j \cdot \frac{q^n - 1}{q - 1} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (2.35)$$

mit

- $K^{\text{bar}}$  ... Barwert (Anfangswert) des Kapitals [€]
- $K_j$  ... jährlicher Kapitalzuwachs [€]
- $q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]
- $n$  ... Laufzeit [Jahre]

$$K^{\text{end}} = K^{\text{bar}} \cdot q^m \quad (2.36)$$

mit

- $K^{\text{end}}$  ... Endwert des Kapitals [€]
- $K^{\text{bar}}$  ... Barwert (Anfangswert) des Kapitals [€]
- $q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]
- $m$  ... vergangene Laufzeit [Jahre]

$$K^{\text{end}} = K_j \cdot \frac{q^m - 1}{q - 1} \quad (2.37)$$

mit

- $K^{\text{end}}$  ... Endwert des Kapitals [€]
- $K_j$  ... jährlicher Kapitalzuwachs [€]
- $q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]
- $m$  ... vergangene Laufzeit [Jahre]

## Formeln zur Anpassung von Standardlebenszyklen:

$$V_{K,n} = \sum_m V_{A,n,m} \quad (3.1)$$

mit

- $V_{K,n}$  ... Konstruktions-(Erhaltungs)intervall  $n$  [Jahre]
- $V_{A,n,m}$  ... Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervall  $m$  im  $n$ -ten Konstruktions-(Erhaltungs)intervall [Jahre]

$$t_{K,Z=1} = f(Z_{K,best}) \quad (3.2)$$

$$t_{K,Z=krit} = f(Z_{K,krit}) \quad (3.3)$$

$$V_{K,n} = t_{K,Z=krit} - t_{K,Z=1} \quad (3.4)$$

$$[V_{K,n,stand} - SV_{K,n,stand}] \leq V_{K,n} \leq [V_{K,n,stand} + SV_{K,n,stand}] \quad (3.5)$$

mit

- $t_{K,Z=1}$  ... Zeitpunkt des letzten idealen Zustands des maßgebenden konstruktiven Anlagenteils (=Zeitpunkt der Errichtung oder der letzten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme) [Jahr]
- $t_{K,Z=krit}$  ... Zeitpunkt des kritischen Zustands des maßgebenden konstruktiven Anlagenteils [Jahr]
- $Z_{K,best}$  ... bester Zustand des maßgebenden Konstruktionsteils (Zustandsnote = 1) [dimensionslos]
- $Z_{K,krit}$  ... kritischer Zustand des maßgebenden Konstruktionsteils [dimensionslos]
- $V_{K,n}$  ... Konstruktions-(Erhaltungs)intervall  $n$  [Jahre]
- $V_{K,n,stand}$  ... Länge des Standardkonstruktionsintervalls  $n$  innerhalb des Lebenszyklus [Jahre]
- $SV_{K,n,stand}$  ... Streuung des Standardkonstruktions-(Erhaltungs)intervalls  $n$  [Jahre]

$$t_{A,Z=krit} = f(Z_{A,krit}) \quad (3.6)$$

$$t_{A,Z=1} = f(Z_{A,best})$$

$$V_{A,n,m} = t_{A,Z=krit} - t_{A,Z=1} \quad (3.7)$$

$$[V_{A,n,m,stand} - SV_{A,n,m,stand}] \leq V_{A,n,m} \leq [V_{A,n,m,stand} + SV_{A,n,m,stand}] \quad (3.8)$$

mit

- $t_{A,Z=1}$  ... Zeitpunkt des letzten idealen Zustands des maßgebenden Ausrüstungsteils (=Zeitpunkt der Errichtung oder der letzten Erhaltungsmaßnahme der Ausrüstung) [Jahr]
- $t_{A,Z=krit}$  ... Zeitpunkt des kritischen Zustands des maßgebenden Ausrüstungsteils [Jahr]
- $Z_{A,best}$  ... bester Zustand des maßgebenden Ausrüstungsteils (Zustandsnote = 1) [dimensionslos]
- $Z_{A,krit}$  ... kritischer Zustand des maßgebenden Ausrüstungsteils [dimensionslos]
- $V_{A,n,m}$  ... Ausrüstungs-(Erhaltungs)intervall  $m$  im  $n$ -ten Konstruktions-(Erhaltungs)intervall [Jahre]
- $V_{A,n,m,stand}$  ... Länge des Standardkonstruktions-(Erhaltungs)intervalls  $m$  innerhalb des  $n$ -ten Konstruktions-(Erhaltungs)intervalls [Jahre]
- $SV_{A,n,m,stand}$  ... Streuung des Standardausrüstungs-(Erhaltungs)intervalls  $m$  [Jahre]

$$D_{K,MK} = t_{MK} - t_{Z,K} \quad (3.9)$$

$$D_{A,MK} = t_{MK} - t_{Z,A} \quad (3.10)$$

$$D_{A,MA} = t_{MA} - t_{Z,A} \quad (3.11)$$

mit

$D_{K,MK}$  ... Dauer bis zur nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme auf Grund des Zustands der Konstruktion [Jahre]

$D_{A,MK}$  ... Dauer bis zur nächsten konstruktiven Erhaltungsmaßnahme auf Grund des Zustands der Ausrüstung [Jahre]

$D_{A,MA}$  ... Dauer bis zur nächsten Erhaltungsmaßnahme der Ausrüstung auf Grund des Zustands der Ausrüstung [Jahre]

$t_{MK}$  ... Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme an der Konstruktion bzw. das Ende des Lebenszyklus [Jahr]

$t_{MA}$  ... Zeitpunkt der nächsten Erhaltungsmaßnahme an der Ausrüstung – ausgelöst durch den Zustand der Konstruktion oder Ausrüstung [Jahr]

$t_{Z,K}$  ... Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Konstruktion  $Z_{K,akt}$  [Jahr]

$t_{Z,A}$  ... Zeitpunkt des aktuellen Zustands der Ausrüstung  $Z_{A,akt}$  [Jahr]

### Formeln des technischen Anlagenwerts:

$$EW_{t,t_A} = \left( \sum_{k=AT_i} EW_{k,t_A} \right) \cdot \left( 1 + \frac{p}{100} \right)^{t-t_A} = \left( \sum_{k=AT_i} EW_{k,t_A} \right) \cdot q^{t-t_A} \quad (3.12)$$

mit

$EW_{t,t_A}$  ... Erneuerungswert eines Bauwerks zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$EW_{k,t}$  ... Erneuerungswert eines Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  [€]

$p$  ... mittlere jährliche Indexanpassung [%]

$q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]

$t$  ... Betrachtungszeitpunkt [Jahr]

$t_A$  ... Bezugszeitpunkt (= Anfang des Betrachtungszeitraums) [Jahr]

$$TAW_{k,t} = AntEW_{k,t} \cdot EW_{k,t,t_A} \quad (3.13)$$

mit

$TAW_{k,t}$  ... Technischer Anlagenwert eines Anlagenteils  $k$  als Funktion der Zeit  $t$  [€]

$AntEW_{k,t}$  ... Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert für den Anlagenteil  $k$  zum Zeitpunkt  $t$

$EW_{k,t,t_A}$  ... Erneuerungswert des Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$$KI_t = \frac{\sum_{i=AT_{KI}} TAW_{i,t}}{\sum_{i=AT_{KI}} EW_{i,t,t_A}} \cdot 100 \quad (3.14)$$

$$AI_t = \frac{\sum_{j=AT_{AI}} TAW_{j,t}}{\sum_{j=AT_{AI}} EW_{j,t,t_A}} \cdot 100 \quad (3.15)$$

mit

- $KI_t$  ... Konstruktionsindikator zum Zeitpunkt  $t$  [dimensionslos]
- $AI_t$  ... Ausrüstungsindikator zum Zeitpunkt  $t$  [dimensionslos]
- $AT_{KI}$  ... Anlagenteile des Konstruktionsindikators
- $AT_{AI}$  ... Anlagenteile des Ausrüstungsindikators
- $TAW_{i,t}$  ... Technischer Anlagenwert des Anlagenteils  $i$  bzw.  $j$  zum Zeitpunkt  $t$  [€]
- $EW_{i,t,t_A}$  ... Erneuerungswert des Anlagenteils  $i$  bzw.  $j$  zum Zeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$$TAW_t = \sum_{k=AT_i} TAW_{k,t} = \sum_{k=AT_i} AntEW_{k,t} \cdot EW_{k,t,t_A} \quad (3.16)$$

mit

- $TAW_t$  ... Technischer Anlagenwert eines oder mehrerer Bauwerke als Funktion der Zeit  $t$  [€]
- $TAW_{k,t}$  ... Technischer Anlagenwert eines Anlagenteils  $k$  als Funktion der Zeit  $t$  [€]
- $AntEW_{k,t}$  ... Anteil des technischen Anlagenwerts vom Erneuerungswert für den Anlagenteil  $k$  zum Zeitpunkt  $t$
- $EW_{k,t,t_A}$  ... Erneuerungswert des Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$$TAW_{t,n} = \frac{\sum_{k=AT_i} TAW_{k,t}}{\sum_{k=AT_i} EW_{k,t,t_A}} \cdot 100 = KI_t \cdot AntKI_{t,t_A} + AI_t \cdot AntAI_{t,t_A} \quad (3.17)$$

mit

- $TAW_{t,n}$  ... normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks als Funktion der Zeit  $t$  [dimensionslos]
- $TAW_t$  ... Technischer Anlagenwert eines oder mehrerer Bauwerke als Funktion der Zeit  $t$  [€]
- $EW_{k,t,t_A}$  ... Erneuerungswert des Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]
- $KI_t$  ... Konstruktionsindikator zum Zeitpunkt  $t$  [dimensionslos]
- $AI_t$  ... Ausrüstungsindikator zum Zeitpunkt  $t$  [dimensionslos]
- $AntKI_{t,t_A}$  ... Anteil der Erneuerungswerte für die Anlagenteile der Konstruktion  $AT_{KI}$  am Gesamterneuerungswert der Anlage
- $AntAI_{t,t_A}$  ... Anteil der Erneuerungswerte für die Anlagenteile der Ausrüstung  $AT_{AI}$  am Gesamterneuerungswert der Anlage

$$AntKI_{t,t_A} = \frac{\sum_{i=AT_{KI}} EW_{i,t,t_A}}{\sum_{k=AT_i} EW_{k,t,t_A}} \quad (3.18)$$

$$AntAI_{t,t_A} = \frac{\sum_{i=AT_{AI}} EW_{i,t,t_A}}{\sum_{k=AT_i} EW_{k,t,t_A}} \quad (3.19)$$

mit

$AntKI_{t,t_A}$  ... Anteil der Erneuerungswerte für die Anlagenteile der Konstruktion  $AT_{KI}$  am Gesamterneuerungswert der Anlage

$AntAI_{t,t_A}$  ... Anteil der Erneuerungswerte für die Anlagenteile der Ausrüstung  $AT_{AI}$  am Gesamterneuerungswert der Anlage

$EW_{i,t,t_A}$  ... Erneuerungswert des Anlagenteils  $i$  bzw.  $j$  zum Zeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$EW_{k,t,t_A}$  ... Erneuerungswert des Anlagenteils  $k$  zum Betrachtungszeitpunkt  $t$  mit Bezugszeitpunkt  $t_A$  [€]

$$IF_{ES_x} = \sum_{t=t_A}^{t_E} TAW_{t,n} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (3.20)$$

mit

$IF_{ES_x}$  ... Indexfläche der Erhaltungsstrategie  $ES_x$  unter dem Verlauf des normierten technischen Anlagenwerts [dimensionslos]

$ES_x$  ... Erhaltungsstrategie  $x$  für eine Anlage oder unterschiedliche Anlagen des gleichen Typs

$TAW_{t,n}$  ... normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks als Funktion der Zeit  $t$  [dimensionslos]

$q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]

$n$  ... Laufzeit [Jahre]

$$WI_{t_i} = TAW_{t_i,n,nach} - TAW_{t_i,n,vor} \quad (3.21)$$

$$WI_{ES_x} = \sum_{t_i=t_A}^{t_E} WI_{t_i} \cdot \frac{1}{q^n} \quad (3.22)$$

mit

$WI_{t_i}$  ... Wirkungsindex der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  [dimensionslos]

$WI_{ES_x}$  ... Gesamtwirkungsindex der Erhaltungsstrategie  $ES_x$  [dimensionslos]

$ES_x$  ... Erhaltungsstrategie  $x$  für eine Anlage oder unterschiedliche Anlagen des gleichen Typs

$TAW_{t_i,n,vor}$  ... normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks vor der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  [dimensionslos]

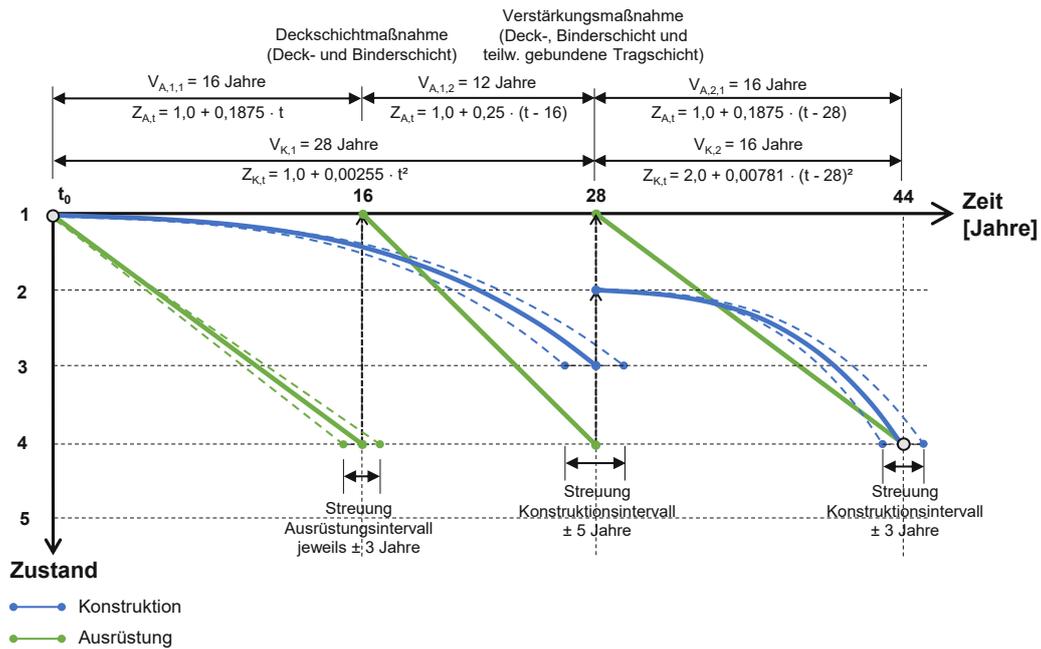
$TAW_{t_i,n,nach}$  ... normierter technischer Anlagenwert eines Bauwerks nach der Maßnahme zum Zeitpunkt  $t_i$  [dimensionslos]

$q$  ... Zinsfaktor bzw. Abzinsungsfaktor [dimensionslos]

$n$  ... Laufzeit [Jahre]

# Anhang A

## Standardlebenszyklen



**Abb. A.1:** Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Asphalt, konventionelle Deckschicht (Quelle: modifiziert nach *TAniA*-Endbericht [90, S. 110])

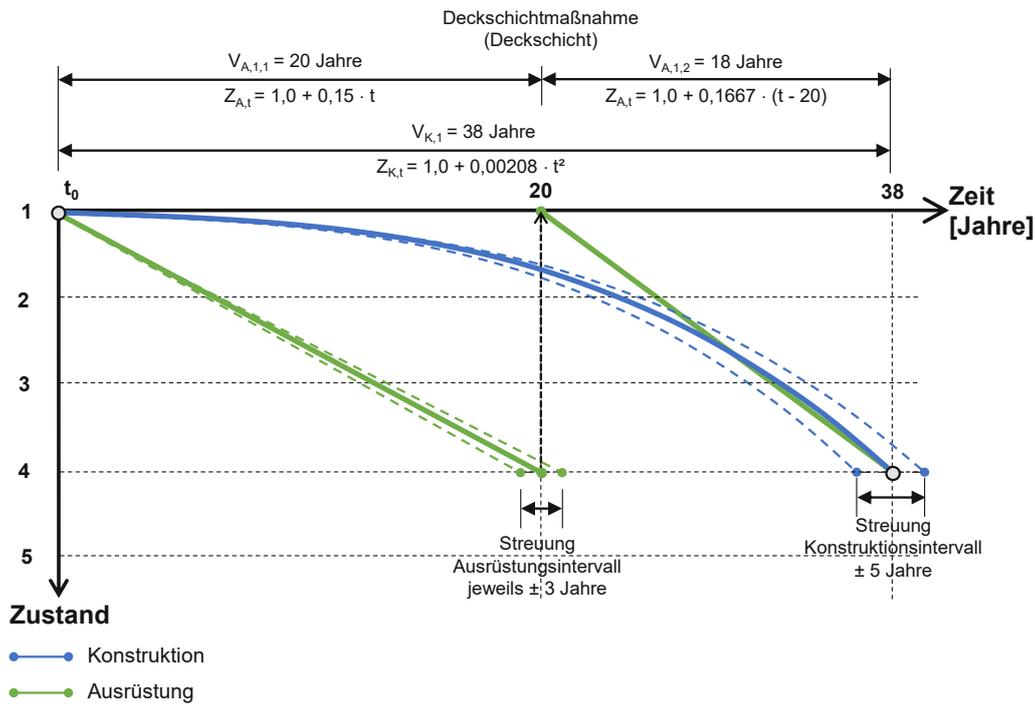


Abb. A.2: Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Asphalt, lange Lebensdauer Deckschicht (Quelle: modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 112])

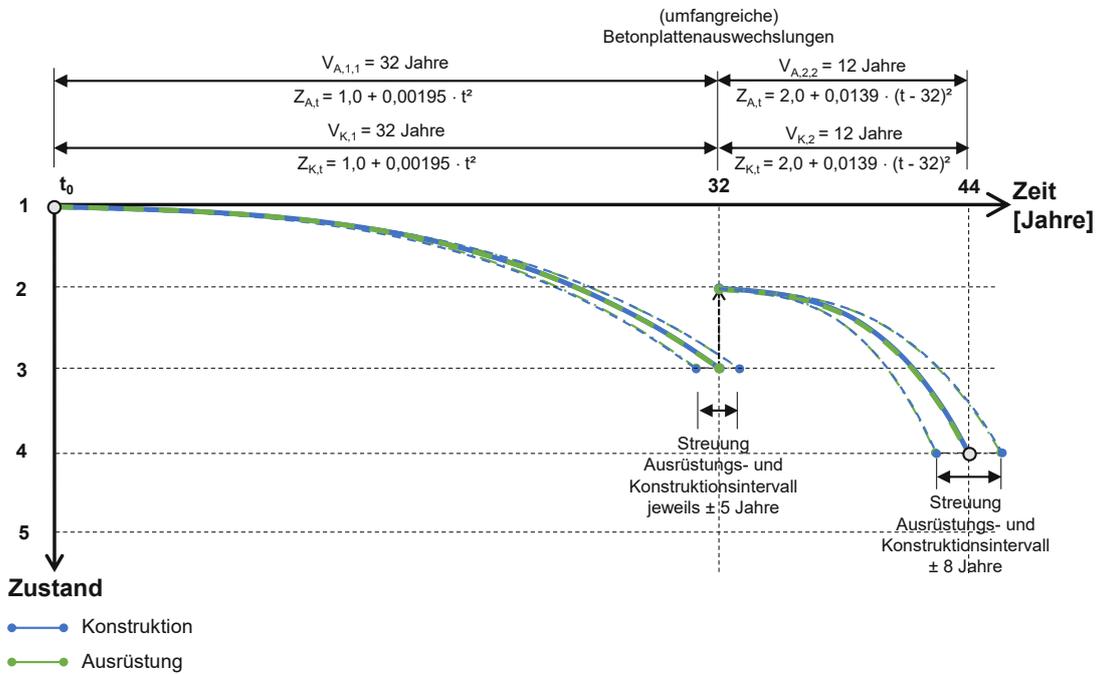


Abb. A.3: Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Betonoberbau (Quelle: modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 113])

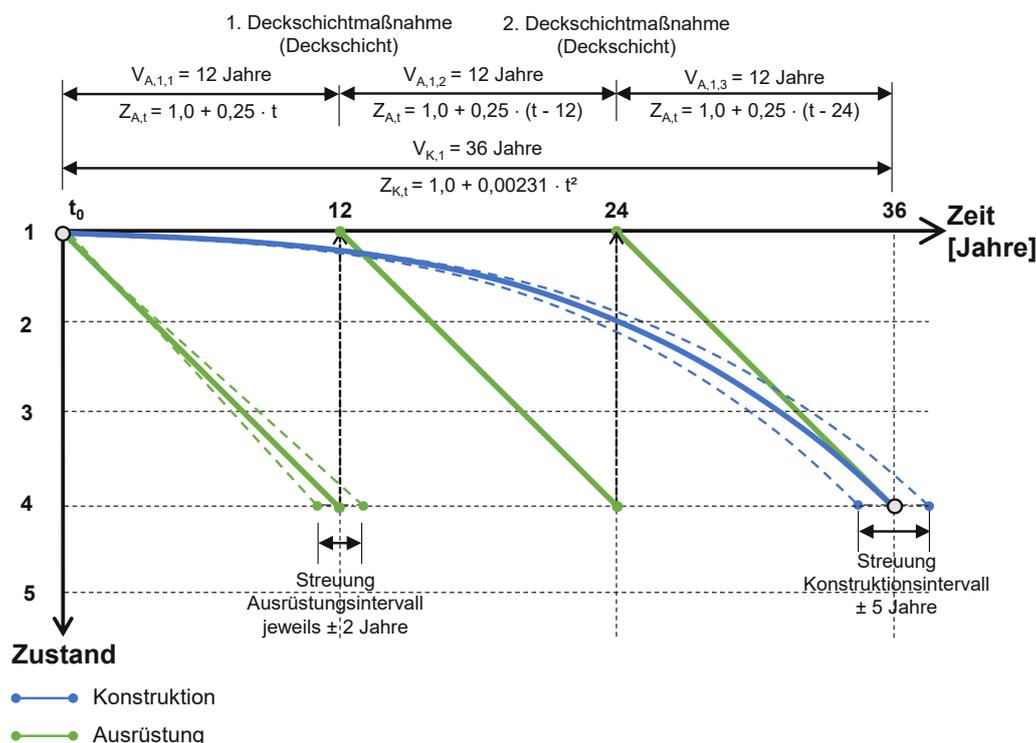


Abb. A.4: Standardlebenszyklus Straßenoberbau – Beton mit Asphaltdeckschicht (Quelle: modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 114])

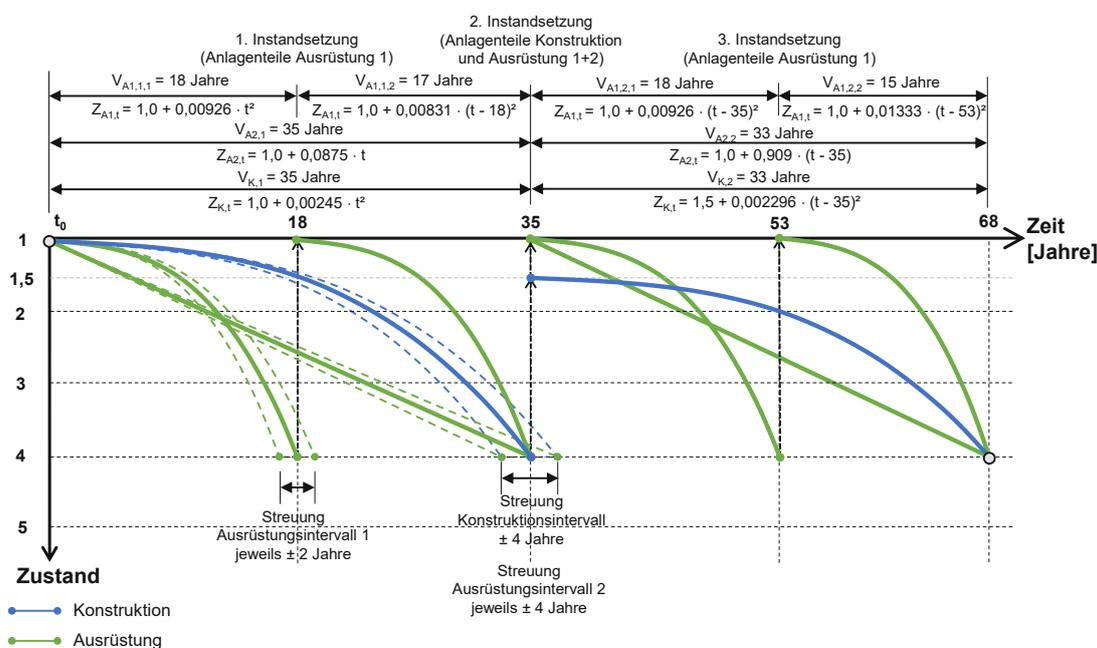
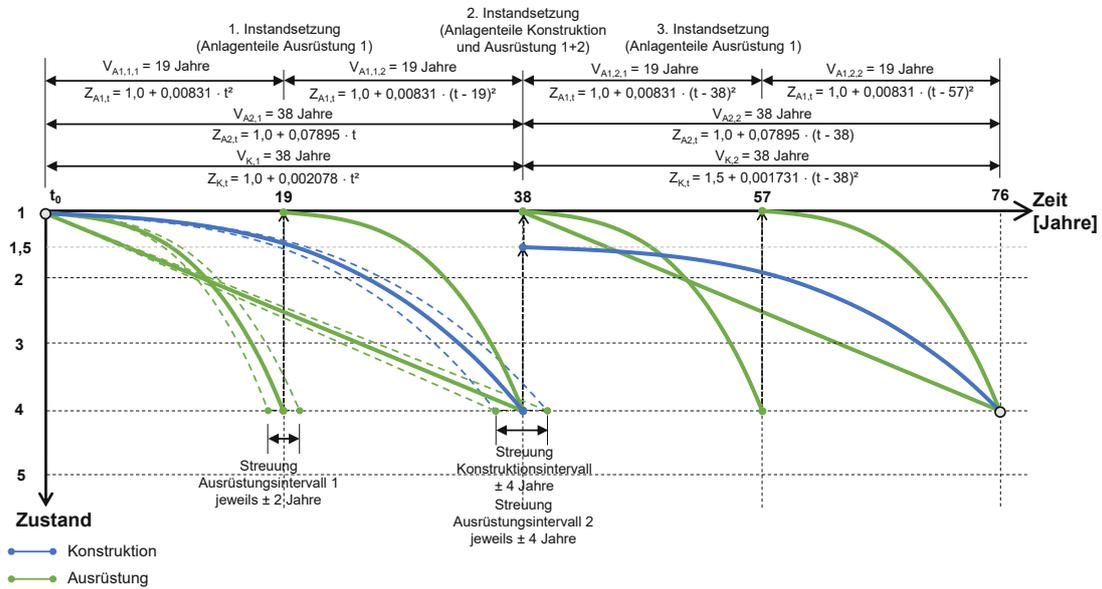


Abb. A.5: Standardlebenszyklus Brücke – ca. 70 Jahre Nutzungsdauer (Quelle: modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 116])



**Abb. A.6:** Standardlebenszyklus Brücke – ca. 80 Jahre Nutzungsdauer (Quelle: modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 117])

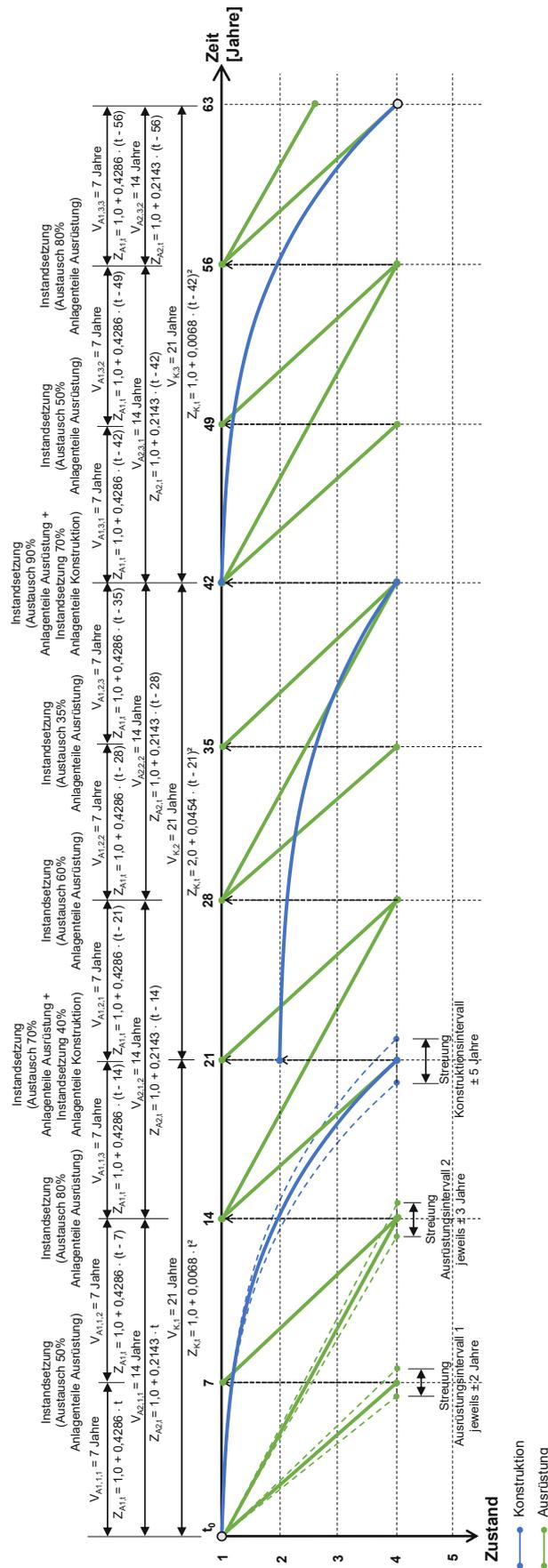


Abb. A.7: Standardlebenszyklus Tunnel – offene Bauweise, Unterflurtrassen (Quelle: modifiziert nach TAniA-Endbericht [90, S. 121])



## Anhang B

# Implementierungen in den dTIMS-Datenbanken der ASFINAG

**Tab. B.1:** Kostenansätze für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten des Straßenoberbaus (modifiziert nach [5])

Anlagenteil	Kostenansatz
Ausrüstung (Substanzwert Decke & Gebrauchswert)	25 €/m <sup>2</sup>
Konstruktion (Substanzwert)	60 €/m <sup>2</sup>

**Tab. B.2:** Kostenansätze für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten bei Brücken (modifiziert nach [5])

Anlagenteil	Kostenansatz
Ausrüstung	366 €/m
Belag	31 €/m <sup>2</sup>
Entwässerung/Abdichtung	99 €/m <sup>2</sup>
Fahrbahnübergangskonstruktion	3000 €/m
Lager	6000 €/Stk
Randbalken	1300 €/m
Überbau	156 €/m <sup>2</sup>
Unterbau	156 €/m <sup>2</sup>

**Tab. B.3:** Kostenansätze für Erneuerungskosten inkl. Nebenarbeiten bei Straßentunneln (modifiziert nach [5] und [90])

Gewerke Nr.	Bezeichnung Anlagenteil	Erneuerungskosten [€/m Tunnelröhre]
01	Mittelspannungsanlage	131 €/m
02	Niederspannungsanlage	71 €/m
03	SSV Anlage	51 €/m
04	Notstromaggregate	42 €/m
05	Blitzschutzanlage	14 €/m
06	Erdung und Potentialausgleich	28 €/m
07	Mechanische Anlagenteile Axialventilatoren	230 €/m

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.3: Kostenansätze für Erneuerungskosten bei Straßentunneln (Fortsetzung)

Gewerke Nr.	Gewerkbezeichnung	Erneuerungskosten [€/m Tunnelröhre]
08	Mechanische Anlagenteile Strahlventilatoren	119 €/m
09	Elektromechanische Anlagenteile Axialventilatoren	750 €/m
10	Elektromechanische Anlagenteile Strahlventilatoren	107 €/m
11	Regelung, Steuerung	50 €/m
12	Gebäudebelüftung, Klimaanlage	71 €/m
13	Einfahrtsbeleuchtung	124 €/m
14	Innenstreckenbeleuchtung	179 €/m
15	Beleuchtung Querschläge/Fluchtwege	71 €/m
16	Fluchtweghinweis/-orientierungsleuchten	42 €/m
17	Regelung, Messwerterfassung	34 €/m
18	CO-Messung	49 €/m
19	Trübungsmessung	35 €/m
20	Längsgeschwindigkeitsmessung	28 €/m
21	Straßenverkehrszeichen	14 €/m
22	Verkehrszählung	21 €/m
23	Videoanlagen	155 €/m
24	Verkehrslichtsignalanlagen	28 €/m
25	Höhenkontrolle	35 €/m
26	Verkehrsleit- und Infoeinrichtung	56 €/m
27	Notruf	99 €/m
28	Telefonanlage (Festnetz)	14 €/m
29	Funkanlage	141 €/m
30	Beschallungsanlage	113 €/m
31	Brandmeldeanlage Kabel	71 €/m
32	Brandmeldeanlage Steuerung	85 €/m
33	Löscheinrichtungen	35 €/m
34	Löschwasserversorgung	225 €/m
35	Lösch- und Bindemittelvorrat	14 €/m
36	Automatisierung	174 €/m
37	Prozessvisualisierung	174 €/m
38	Archivierung/Datenauswertung	75 €/m
39	Gewässerschutzanlage	42 €/m
40	Schachtbefahrung	13 €/m
41	Türen, Tore, Verkleidungen	183 €/m
42	Kräne und Hebezeuge	13 €/m
	Abdichtung/Entwässerung	1088 €/m
	Bauliche Ausrüstung	754 €/m
	Belag	770 €/m
	Betriebsräume/Nischen	116 €/m
	Erhöhter Seitenstreifen	400 €/m
	Fluchtwege	159 €/m
	Portal/Gesims	938 €/m
	Schacht	116 €/m

Fortsetzung auf der nächsten Seite

**Tab. B.3:** Kostenansätze für Erneuerungskosten bei Straßentunneln (Fortsetzung)

Gewerke Nr.	Gewerkbezeichnung	Erneuerungskosten [€/m Tunnelröhre]
	Tunnelröhre geschlossene Bauweise	383 €/m
	Tunnelröhre offene Bauweise	938 €/m
	Tunnelröhre gemischte Bauweise	661 €/m
	Zwischendecke/Trennwand	675 €/m

**Tab. B.4:** Ergänzende Attribute in der Master-Tabelle des BMS

Attributname	Beschreibung	Attributtyp	Format
<i>TAW_AI_1</i>	Technischer Anlagenwert Ausrüstungsindikator 1 in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_AI_1_Index</i>	Technischer Anlagenwert Ausrüstungsindikator 1 Index (0-100)	Decimal	0,0
<i>TAW_AI_2</i>	Technischer Anlagenwert Ausrüstungsindikator 2 in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_AI_2_Index</i>	Technischer Anlagenwert Ausrüstungsindikator 2 Index (0-100)	Decimal	0,0
<i>TAW_KI</i>	Technischer Anlagenwert Konstruktionsindikator in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_KI_Index</i>	Technischer Anlagenwert Konstruktionsindikator Index (0-100)	Decimal	0,0
<i>TAW_Gesamt</i>	Technischer Anlagenwert gesamt in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_Index_Gesamt</i>	Technischer Anlagenwert Index gesamt (0-100)	Decimal	0,0

**Tab. B.5:** Ergänzende Attribute in der Master-Tabelle des PMS

Attributname	Beschreibung	Attributtyp	Format
<i>TAW_AI</i>	Technischer Anlagenwert Ausrüstungsindikator in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_AI_Index</i>	Technischer Anlagenwert Ausrüstungsindikator Index (0-100)	Decimal	0,0
<i>TAW_KI</i>	Technischer Anlagenwert Konstruktionsindikator in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_KI_Index</i>	Technischer Anlagenwert Konstruktionsindikator Index (0-100)	Decimal	0,0
<i>TAW_Gesamt</i>	Technischer Anlagenwert gesamt in Mio.	Decimal	0,000
<i>TAW_Index_Gesamt</i>	Technischer Anlagenwert Index gesamt (0-100)	Decimal	0,0

**Tab. B.6:** Ergänzende Analysis Expressions in der dTIMS-Datenbank des PMS

INPUT-Expressions	laufende Expressions
<i>B_aN_INPUT_Analysejahr</i>	<i>B_JAV_aN_Analysejahr</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_KI</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_KI</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_KI_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_KI_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Erneuerungswert</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Erneuerungswert</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Gesamt</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Gesamt</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Gesamtindex</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_vorhJahr</i>	—
—	<i>B_JAV_aN_TAW_Wirkungsindex</i>
—	<i>B_KAV_aN_TAW_Indexflaeche</i>
—	<i>B_KAV_aN_TAW_Gesamtwirkungsindex</i>

**Tab. B.7:** Ergänzende Analysis Expressions in der dTIMS-Datenbank des TMS

INPUT-Expressions	laufende Expressions
<i>B_aN_INPUT_Analysejahr</i>	<i>B_JAV_aN_Analysejahr</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_1</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_1</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_1_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_1_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_2</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_2</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_2_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_2_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_3</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_3</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_AI_3_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_AI_3_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_KI</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_KI</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_KI_Index</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_KI_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Erneuerungswert</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Erneuerungswert</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Gesamt</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Gesamt</i>
<i>B_aN_INPUT_TAW_Gesamtindex</i>	<i>B_JAV_aN_TAW_Index</i>
<i>B_aN_INPUT_vorhJahr</i>	—
—	<i>B_JAV_aN_TAW_Wirkungsindex</i>
—	<i>B_KAV_aN_TAW_Indexflaeche</i>
—	<i>B_KAV_aN_TAW_Gesamtwirkungsindex</i>

Tab. B.8: Ergänzungen der INPUT-Analysis Expressions im PMS

Kurzbezeichnung	Berechnung
Analysejahr	1.0
AI	$\begin{aligned} & (\text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} < 2.0, 25.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} < 3.0, -8.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} + 41.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} < 4.0, -7.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} + 38.0, \\ & -10.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} + 50.0))) * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_HFS} + \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} < 2.0, 25.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} < 3.0, -8.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} + 41.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} < 4.0, -7.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} + 38.0, \\ & -10.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_NFS} + 50.0))) * \\ & (\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_FB} - \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_HFS}) / 1000000.0 \end{aligned}$
AI_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / (\text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} = 0.0, 0.0, 25.0) * \\ & \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_FB}) * (\text{P\_aN\_INPUT\_TAW\_AI} * 1000000.0))) \end{aligned}$
KI	$\begin{aligned} & (\text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} < 2.0, 60.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} < 3.0, -10.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} + 80.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} < 4.0, -20.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} + 110.0, \\ & -30.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} + 150.0))) * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_HFS} + \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} < 2.0, 60.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} < 3.0, -10.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} + 80.0, \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} < 4.0, -20.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} + 110.0, \\ & -30.0 * \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_NFS} + 150.0))) * \\ & (\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_FB} - \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_HFS}) / 1000000.0 \end{aligned}$
KI_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / (\text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} = 0.0, 0.0, 60.0) * \\ & \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_FB}) * (\text{P\_aN\_INPUT\_TAW\_KI} * 1000000.0))) \end{aligned}$
Erneuerungswert	$\begin{aligned} & ((\text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} = 0.0, 0.0, 25.0) + \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} = 0.0, 0.0, 60.0)) * \\ & \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_FB}) / 1000000.0 \end{aligned}$
TAW_Gesamt	P_aN_INPUT_TAW_AI + P_aN_INPUT_TAW_KI
TAW_Gesamtindex	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / (( \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_GI\_HFS} = 0.0, 0.0, 25.0) + \\ & \text{IF}(\text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{ZU\_ZW\_SI\_HFS} = 0.0, 0.0, 60.0)) * \\ & \text{P\_LCCA\_hom} \rightarrow \text{GEO\_Flaeche\_FB}) * \\ & ((\text{P\_aN\_INPUT\_TAW\_AI} + \text{P\_aN\_INPUT\_TAW\_KI}) * 1000000.0))) \end{aligned}$
vorheriges Jahr	IF(P_JAV_Analysejahr=1.0, 1.0, P_JAV_Analysejahr-1.0)

Tab. B.9: Ergänzungen der Analysis Expressions im PMS

Kurzbezeichnung	Berechnung
Analysejahr	YR
AI	<pre>(IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS=0.0,0.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS&lt;2.0,25.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS&lt;3.0,-8.0*P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS+41.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS&lt;4.0,-7.0*P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS+38.0, -10.0*P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS+50.0)))))*P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_HFS+ IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS=0.0,0.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS&lt;2.0,25.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS&lt;3.0,-8.0*P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS+41.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS&lt;4.0,-7.0*P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS+38.0, -10.0*P_JAV_ZU_ZW_GI_NFS+50.0)))))*(P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_FB- P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_HFS))/1000000.0</pre>
AI_Index	<pre>MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/(( IF(P_LCCA_hom-&gt;ZU_ZW_GI_HFS=0.0,0.0,25.0)) *P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_FB)*(P_JAV_TAW_AI*1000000.0)))</pre>
KI	<pre>(IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS=0.0,0.0,IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS&lt;2.0,60.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS&lt;3.0,-10.0*P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS+80.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS&lt;4.0,-20.0*P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS+110.0, -30.0*P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS+150.0)))))*P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_HFS+ IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS=0.0,0.0,IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS&lt;2.0,60.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS&lt;3.0,-10.0*P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS+80.0, IF(P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS&lt;4.0,-20.0*P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS+110.0, -30.0*P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS+150.0)))))*(P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_FB- P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_HFS))/1000000.0</pre>
KI_Index	<pre>MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/(IF(P_LCCA_hom-&gt;ZU_ZW_SI_HFS=0.0,0.0,60.0) *P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_FB)*(P_JAV_TAW_KI*1000000.0)))</pre>
Erneuerungswert	<pre>((IF(P_LCCA_hom-&gt;ZU_ZW_GI_HFS=0.0,0.0,25.0)+ IF(P_LCCA_hom-&gt;ZU_ZW_SI_HFS=0.0,0.0,60.0))* P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_FB)/1000000.0</pre>
TAW_Gesamt	P_JAV_TAW_AI+P_JAV_TAW_KI
TAW_Gesamtindex	<pre>MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/(( IF(P_LCCA_hom-&gt;ZU_ZW_GI_HFS=0.0,0.0,25.0)+ IF(P_LCCA_hom-&gt;ZU_ZW_SI_HFS=0.0,0.0,60.0))* P_LCCA_hom-&gt;GEO_Flaeche_FB)* ((P_JAV_TAW_AI+P_JAV_TAW_KI)*1000000.0)))</pre>
Wirkungsindex	IF(YR<=1.0,0.0,MAX(0.0,P_JAV_TAW_Index_Gesamt-GET_ANALVAR_4_YR(P_JAV_TAW_Index_Gesamt,P_aN_INPUT_vorhJahr)))
Gesamtwirkungsindex	GET4CAV_PV(P_JAV_TAW_Wirkungsindex)
Indexfläche	GET4CAV_PV(P_JAV_TAW_Index_Gesamt)

Tab. B.10: Ergänzungen der INPUT-Analysis Expressions im BMS

Kurzbezeichnung	Berechnung
Analysejahr	1.0
AI_1	<pre> IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert=0.0,0.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert&lt;=1.0,366.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert&lt;2.0, -54.9*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert+420.9, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert&lt;3.0, -91.5*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert+494.1, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert&lt;4.0, -183.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert+768.6, -36.6*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert+183.0)))))))* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0)/1000000.0+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert=0.0,0.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert&lt;=1.0,3000.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert&lt;2.0, -300.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert+3300.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert&lt;3.0, -2400.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert+7500.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert&lt;4.0, -300.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert+1200.0,0.0))))))* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_FUEG_Laenge/1000000.0  MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/( IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert=0.0,0.0,366.0)* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0)+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert=0.0,0.0,3000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_FUEG_Laenge)* ((B_aN_INPUT_TAW_AI_1)*1000000.0))) </pre>
AI_1_Index	<pre> IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert=0.0,0.0,366.0)* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0)+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert=0.0,0.0,3000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_FUEG_Laenge)* ((B_aN_INPUT_TAW_AI_1)*1000000.0)) </pre>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.10: Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_2	<pre> IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert=0.0,0.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;=1.0,99.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;2.0, -14.85*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert+113.85, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;3.0, -24.75*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert+133.65, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;4.0, -49.5*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert+207.9, -9.9*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert+49.5)))))))* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche/1000000.0+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert&lt;=1.0,6000.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert&lt;2.0, -600.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert+6600.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert&lt;3.0, -1800.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert+9000.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert&lt;4.0, -3000.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert+12600.0, -600.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert+3000.0)))))))* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl)/1000000.0+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;=1.0,1300.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;2.0, -195.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert+1495.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;3.0, -325.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert+1755.0, IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;4.0, -650.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert+2730.0, -130.0*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert+650.0)))))))* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge)*2.0/1000000.0 MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/( IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert=0.0,0.0,99.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0,6000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0,1300.0)* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0))* ((B_aN_INPUT_TAW_AI_2)*1000000.0))) </pre>
AI_2_Index	<pre> IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert=0.0,0.0,99.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0,6000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0,1300.0)* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0))* ((B_aN_INPUT_TAW_AI_2)*1000000.0))) </pre>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.10: Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
KI	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} \leq 1.0, 156.0, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} < 2.0, \\ & -28.8 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} + 184.08, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} < 3.0, \\ & -35.88 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} + 199.68, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} < 4.0, \\ & -62.4 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} + 279.24, \\ & -29.64 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} + 148.2)))) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} / 1000000.0 + \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} \leq 1.0, 156.0, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} < 2.0, \\ & -10.93 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} + 166.93, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} < 3.0, \\ & -16.39 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} + 177.85, \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} < 4.0, \\ & -27.32 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} + 210.64, \\ & -101.36 * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} + 506.81)))))) \\ & * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} / 1000000.0 \\ & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ( \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche}) * (\text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_KI} * 1000000.0))) \\ & (\text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Entwaesserung\_Mittelwert} = 0.0, \\ & 0.0, 99.0) * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & 366.0) * (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 3000.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Lager\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 6000.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Lager\_Anzahl}) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Randbalken\_Mittelwert} = 0.0, \\ & 0.0, 1300.0) * (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche}) / 1000000.0 \end{aligned}$
KI_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ( \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche}) * (\text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_KI} * 1000000.0))) \\ & (\text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Entwaesserung\_Mittelwert} = 0.0, \\ & 0.0, 99.0) * \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & 366.0) * (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 3000.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Lager\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 6000.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Lager\_Anzahl}) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Randbalken\_Mittelwert} = 0.0, \\ & 0.0, 1300.0) * (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche}) / 1000000.0 \end{aligned}$
Erneuerungswert	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Entwaesserung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 99.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 366.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 3000.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Lager\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 6000.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Lager\_Anzahl}) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Randbalken\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 1300.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche}) / 1000000.0 \end{aligned}$
TAW_Gesamt	$\text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_1} + \text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_2} + \text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_KI}$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

**Tab. B.10:** Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
TAW_Gesamtindex	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ( \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Entwaesserung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 99.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 366.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 3000.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Lager\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 6000.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Lager\_Anzahl}) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Randbalken\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 1300.0) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche} \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 156.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Flaeche}) * ((\text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_1} + \\ & \text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_2} + \text{B\_aN\_INPUT\_TAW\_KI}) * 1000000.0))) \\ \end{aligned}$
vorheriges Jahr	$\text{IF}(\text{B\_JAV\_Analysejahr} = 1.0, 1.0, \text{B\_JAV\_Analysejahr} - 1.0)$

**Tab. B.11:** Ergänzungen der Analysis Expressions im BMS

Kurzbezeichnung	Berechnung
Analysejahr	YR
AI_1	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} < 1.0, 366.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} < 2.0, \\ & -54.5 * \text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} + 420.9, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} < 3.0, \\ & -91.5 * \text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} + 494.1, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} < 4.0, \\ & -183.0 * \text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} + 768.6, \\ & -36.6 * \text{B\_JAV\_ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} + 183.0)))) * \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) / 1000000.0 + \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} \leq 1.0, 3000.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} < 2.0, \\ & -300.0 * \text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} + 3300.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} < 3.0, \\ & -2400.0 * \text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} + 7500.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} < 4.0, \\ & -300.0 * \text{B\_JAV\_ZU\_FUEG\_Mittelwert} + 1200.0, 0.0)))) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge} / 1000000.0 \\ & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ( \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & 366.0) * (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 3000.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge}) * \\ & (\text{B\_JAV\_TAW\_AI\_1} * 1000000.0))) \\ \end{aligned}$
AI_1_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ( \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, \\ & 366.0) * (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge} * 2.0) \\ & + \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{ZU\_FUEG\_Mittelwert} = 0.0, 0.0, 3000.0) * \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA} \rightarrow \text{INV\_FUEG\_Laenge}) * \\ & (\text{B\_JAV\_TAW\_AI\_1} * 1000000.0))) \\ \end{aligned}$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.11: Ergänzende der Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_2	<pre> IF(B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert=0.0,0.0, IF(B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;=1.0,99.0, IF(B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;2.0, -14.85*B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert+113.85, IF(B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;3.0, -24.75*B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert+133.65, IF(B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert&lt;4.0,- 49.5*B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert+207.9, -9.9*B_JAV_ZU_Entwaesserung_Mittelwert+49.5)))))))* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche/1000000.0+ IF(B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0, IF(B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert&lt;=1.0,6000.0, IF(B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert&lt;2.0, -600.0*B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert+6600.0, IF(B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert&lt;3.0, -1800.0*B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert+9000.0, IF(B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert&lt;4.0, -3000.0*B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert+12600.0, -600.0*B_JAV_ZU_Lager_Mittelwert+3000.0)))))))* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl)/1000000.0+ IF(B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0, IF(B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;=1.0,1300.0, IF(B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;2.0, -195.0*B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert+1495.0, IF(B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;3.0, -325.0*B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert+1755.0, IF(B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert&lt;4.0, -650.0*B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert+2730.0, -130.0*B_JAV_ZU_Randbalken_Mittelwert+650.0)))))))* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0/1000000.0 MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/( IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert=0.0,0.0, 99.0)*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche +IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0,6000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl +IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0, 1300.0)*(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0)))* (B_JAV_TAW_AI_2*1000000.0)))) </pre>
AI_2_Index	<pre> IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaesserung_Mittelwert=0.0,0.0, 99.0)*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche +IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0,6000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl +IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0, 1300.0)*(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0))* (B_JAV_TAW_AI_2*1000000.0)))) </pre>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.11: Ergänzende der Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
KI	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}=0.0,0.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}\leq 1.0,156.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}<2.0, \\ & -28.8*\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}+184.08, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}<3.0, \\ & -35.88*\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}+199.68, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}<4.0, \\ & -62.4*\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}+279.24, \\ & -29.64*\text{B\_JAV\_ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}+148.2)))))))* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}/1000000.0+ \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}=0.0,0.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}\leq 1.0,156.0, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}<2.0, \\ & -10.92*\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}+166.92, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}<3.0, \\ & -15.6*\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}+176.28, \\ & \text{IF}(\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}<4.0, \\ & -28.0*\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}+213.72, \\ & -101.4*\text{B\_JAV\_ZU\_Unterbau\_Mittelwert}+507.0)))))))* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}/1000000.0 \\ & \text{MIN}(100.0,\text{MAX}(0.0,100.0/( \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche})*(\text{B\_JAV\_TAW\_KI}*1000000.0))) \\ & (\text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Entwaeserung\_Mittelwert}=0.0,0.0, \\ & 99.0)*\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert}=0.0,0.0,366.0)* \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge}*2.0)+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_FUEG\_Mittelwert}=0.0,0.0,3000.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_FUEG\_Laenge}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Lager\_Mittelwert}=0.0,0.0,6000.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Lager\_Anzahl}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Randbalken\_Mittelwert}=0.0,0.0,1300.0)* \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge}*2.0)+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche})/1000000.0 \end{aligned}$
KI_Index	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche})*(\text{B\_JAV\_TAW\_KI}*1000000.0))) \\ & (\text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Entwaeserung\_Mittelwert}=0.0,0.0, \\ & 99.0)*\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ausruestung\_Mittelwert}=0.0,0.0,366.0)* \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge}*2.0)+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_FUEG\_Mittelwert}=0.0,0.0,3000.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_FUEG\_Laenge}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Lager\_Mittelwert}=0.0,0.0,6000.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Lager\_Anzahl}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Randbalken\_Mittelwert}=0.0,0.0,1300.0)* \\ & (\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Ueberbau\_Gesamtlaenge}*2.0)+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche})/1000000.0 \end{aligned}$
Erneuerungswert	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Ueberbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche}+ \\ & \text{IF}(\text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{ZU\_Unterbau\_Mittelwert}=0.0,0.0,156.0)* \\ & \text{BA\_Eingangsdaten\_LCCA}\rightarrow\text{INV\_Flaeche})/1000000.0 \end{aligned}$
TAW_Gesamt	$\text{B\_JAV\_TAW\_AI\_1}+\text{B\_JAV\_TAW\_AI\_2}+\text{B\_JAV\_TAW\_KI}$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.11: Ergänzende der Analysis Expressions im BMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
TAW_Gesamtindex	<pre> MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/( IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Entwaeserung_Mittelwert=0.0,0.0, 99.0)*BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ausruestung_Mittelwert=0.0,0.0, 366.0)*(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0)+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_FUEG_Mittelwert=0.0,0.0,3000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_FUEG_Laenge+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Lager_Mittelwert=0.0,0.0,6000.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Lager_Anzahl+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Randbalken_Mittelwert=0.0,0.0,1300.0)* (BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Ueberbau_Gesamtlaenge*2.0)+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Ueberbau_Mittelwert=0.0,0.0,156.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche+ IF(BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;ZU_Unterbau_Mittelwert=0.0,0.0,156.0)* BA_Eingangsdaten_LCCA-&gt;INV_Flaeche))* ((B_JAV_TAW_AI_1+B_JAV_TAW_AI_2+B_JAV_TAW_KI)*1000000.0))) </pre>
Wirkungsindex	<pre> IF(YR&lt;=1.0,0.0,MAX(0.0,B_JAV_TAW_Index_Gesamt- GET_ANALVAR_4_YR(B_JAV_TAW_Index_Gesamt,B_aN_INPUT_vorhJahr))) </pre>
Gesamtwirkungsindex	GET4CAV_PV(B_JAV_TAW_Wirkungsindex)
Indexfläche	GET4CAV_PV(B_JAV_TAW_Index_Gesamt)

Tab. B.12: Ergänzungen der INPUT-Analysis Expressions im TMS

Kurzbezeichnung	Berechnung
Analysejahr	1.0
AI_1	<pre> (IF(T_Analyse-&gt;ZE_16_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_16_TAZ+1.25) *42.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_21_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_21_TAZ+ 1.25)*14.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_22_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_22_TAZ+1.25)*21.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_23_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_23_TAZ+1.25)*155.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_24_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_24_TAZ+1.25)* 28.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_25_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_25_TAZ+ 1.25)*35.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_32_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_32_TAZ+1.25)*85.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_37_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_37_TAZ+1.25)*174.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_38_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_38_TAZ+1.25)* 75.0))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0 </pre>
AI_1_Index	<pre> MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/((IF(T_Analyse-&gt;ZE_16_TAZ=0.0,0.0,42.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_21_TAZ=0.0,0.0,14.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_22_TAZ=0.0, 0.0,21.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_23_TAZ=0.0,0.0,155.0))+newline IF(T_Analyse-&gt;ZE_24_TAZ=0.0,0.0,28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_25_TAZ=0.0,0.0,35.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_32_TAZ=0.0,0.0,85.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_37_TAZ=0.0,0.0,174.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_38_TAZ=0.0,0.0,75.0))*T_Analyse-&gt;Length)* ((T_aN_INPUT_TAW_AI_1)*1000000.0))) </pre>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.12: Ergänzende der INPUT-Analyse Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_2	<pre> IF(T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung=0.0,0.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung&lt;1.0,754.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung&lt;2.0,(-0.15*T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung+ 1.15)*754.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung&lt;3.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung+1.35)*754.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung&lt;4.0,(-0.5*T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung+ 2.1)*754.0,(-0.1*T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung+0.5)*754.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+(IF(T_Analyse-&gt;ZE_3_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_3_TAZ+1.25)*51.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_8_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_8_TAZ+1.25)* 119.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_9_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_9_TAZ+1.25)*750.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_10_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_10_TAZ+1.25)*107.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_11_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_11_TAZ+ 1.25)*50.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_12_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_12_TAZ+1.25)*71.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_13_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_13_TAZ+1.25)*124.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_14_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_14_TAZ+ 1.25)*179.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_15_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_15_TAZ+1.25)*71.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_17_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_17_TAZ+1.25)*34.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_18_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_18_TAZ+ 1.25)*49.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_19_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_19_TAZ+1.25)*35.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_20_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_20_TAZ+1.25)*28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_26_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_26_TAZ+ 1.25)*56.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_27_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_27_TAZ+1.25)*99.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_28_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_28_TAZ+1.25)*14.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_29_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_29_TAZ+ 1.25)*141.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_30_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_30_TAZ+1.25)*113.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_31_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_31_TAZ+1.25)*71.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_33_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_33_TAZ+ 1.25)*35.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_34_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_34_TAZ+1.25)*225.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_35_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_35_TAZ+1.25)*14.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_36_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_36_TAZ+ 1.25)*174.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_39_TAZ=0.0,0.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZE_39_TAZ+1.25)*42.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_41_TAZ=0.0, 0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_41_TAZ+1.25)*183.0))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0 </pre>
	Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.12: Ergänzende der INPUT-Analyse Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_2_Index	<pre> MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/((IF(T_Analyse-&gt;ZK_Ausruestung=0.0,0.0, 754.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_3_TAZ=0.0,0.0,51.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_8_TAZ=0.0,0.0,119.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_9_TAZ=0.0,0.0,750.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_10_TAZ=0.0,0.0,107.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_11_TAZ=0.0,0.0,50.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_12_TAZ=0.0,0.0,71.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_13_TAZ=0.0,0.0,124.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_14_TAZ=0.0,0.0,179.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_15_TAZ=0.0,0.0,71.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_17_TAZ=0.0,0.0,34.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_18_TAZ=0.0,0.0,49.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_19_TAZ=0.0,0.0,35.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_20_TAZ=0.0,0.0,28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_26_TAZ=0.0,0.0,56.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_27_TAZ=0.0,0.0,99.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_28_TAZ=0.0,0.0,14.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_29_TAZ=0.0,0.0,141.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_30_TAZ=0.0,0.0,113.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_31_TAZ=0.0,0.0,71.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_33_TAZ=0.0,0.0,35.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_34_TAZ=0.0,0.0,225.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_35_TAZ=0.0,0.0,14.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_36_TAZ=0.0,0.0,174.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_39_TAZ=0.0,0.0,42.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_41_TAZ=0.0,0.0,183.0))*T_Analyse-&gt;Length)* (T_aN_INPUT_TAW_AI_2*1000000.0))) </pre>
	Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.12: Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_3	<pre> IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw=0.0,0.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;1.0, 1088.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;2.0,(-0.15* T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+1.15)*1088.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;3.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+1.35)*1088.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;4.0,(-0.5*T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+ 2.1)*1088.0,(-0.1*T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+0.5)*1088.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr=0.0, 0.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;1.0,400.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;2.0,(-0.15* T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+1.15)*400.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;3.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+1.35)*400.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;4.0, (-0.5*T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+2.1)*400.0, (-0.1*T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+0.5)*400.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+(IF(T_Analyse-&gt;ZE_1_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_1_TAZ+1.25)*131.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_2_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_2_TAZ+1.25)* 71.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_4_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_4_TAZ+1.25)*42.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_5_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_5_TAZ+1.25)* 14.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_6_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_6_TAZ+1.25)*28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_7_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_7_TAZ+1.25)* 230.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_40_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_40_TAZ+1.25)*13.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_42_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_42_TAZ+ 1.25)*13.0))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0  MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/((IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw=0.0,0.0, 1088.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr=0.0,0.0,400.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_1_TAZ=0.0,0.0,131.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_2_TAZ=0.0,0.0,71.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_4_TAZ=0.0,0.0,42.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_5_TAZ=0.0,0.0,14.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_6_TAZ=0.0,0.0,28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_7_TAZ=0.0,0.0,230.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_40_TAZ=0.0,0.0,13.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_42_TAZ=0.0,0.0,13.0))*T_Analyse-&gt;Length)* (T_aN_INPUT_TAW_AI_3*1000000.0))) </pre>
AI_3_Index	<pre> IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw=0.0,0.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;1.0, 1088.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;2.0,(-0.15* T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+1.15)*1088.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;3.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+1.35)*1088.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw&lt;4.0,(-0.5*T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+ 2.1)*1088.0,(-0.1*T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw+0.5)*1088.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr=0.0, 0.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;1.0,400.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;2.0,(-0.15* T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+1.15)*400.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;3.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+1.35)*400.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr&lt;4.0, (-0.5*T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+2.1)*400.0, (-0.1*T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr+0.5)*400.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+(IF(T_Analyse-&gt;ZE_1_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_1_TAZ+1.25)*131.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_2_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_2_TAZ+1.25)* 71.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_4_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_4_TAZ+1.25)*42.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_5_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_5_TAZ+1.25)* 14.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_6_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_6_TAZ+1.25)*28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_7_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_7_TAZ+1.25)* 230.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZE_40_TAZ=0.0,0.0, (-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_40_TAZ+1.25)*13.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_42_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*T_Analyse-&gt;ZE_42_TAZ+ 1.25)*13.0))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0  MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/((IF(T_Analyse-&gt;ZK_Abd_Entw=0.0,0.0, 1088.0)+IF(T_Analyse-&gt;ZK_Erh_Seintenstr=0.0,0.0,400.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_1_TAZ=0.0,0.0,131.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_2_TAZ=0.0,0.0,71.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_4_TAZ=0.0,0.0,42.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_5_TAZ=0.0,0.0,14.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_6_TAZ=0.0,0.0,28.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_7_TAZ=0.0,0.0,230.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_40_TAZ=0.0,0.0,13.0)+ IF(T_Analyse-&gt;ZE_42_TAZ=0.0,0.0,13.0))*T_Analyse-&gt;Length)* (T_aN_INPUT_TAW_AI_3*1000000.0))) </pre>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.12: Ergänzende der INPUT-Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
KI	<pre> IF(T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre=0.0,0.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre&lt;1.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW', 383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW',938.0,661.0)), IF(T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre&lt;2.0,(-0.07* T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre+1.07)*IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW', 383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW',938.0,661.0)), IF(T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre&lt;3.0, (-0.11*T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre+1.15)* IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW', 938.0,661.0)),IF(T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre&lt;4.0, (-0.17*T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre+1.33)* IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW', 938.0,661.0)),(-0.65*T_Analyse-&gt;ZK_Tunnelroehre+3.25)* IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW', 938.0,661.0)))))))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+ IF(T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege=0.0,0.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege&lt;1.0,159.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege&lt;2.0,(-0.07*T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege+ 1.07)*159.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege&lt;3.0,(-0.11* T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege+1.15)*159.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege&lt;4.0, (-0.17*T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege+1.33)*159.0, (-0.65*T_Analyse-&gt;ZK_Fluchtwege+3.25)*159.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni=0.0,0.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni&lt;1.0,116.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni&lt;2.0,(-0.07*T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni+ 1.07)*116.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni&lt;3.0,(-0.11* T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni+1.15)*116.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni&lt;4.0,(-0.17*T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni+ 1.33)*116.0,(-0.65*T_Analyse-&gt;ZK_BetrR_Ni+3.25)*116.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk=0.0, 0.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk&lt;1.0,675.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk&lt;2.0,(-0.15* T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk+1.15)*675.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk&lt;3.0,(-0.25* T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk+1.35)*675.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk&lt;4.0,(-0.5* T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk+2.1)*675.0,(-0.1* T_Analyse-&gt;ZK_ZwDeckeTragwerk+0.5)*675.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(T_Analyse-&gt;ZK_Schacht=0.0,0.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Schacht&lt;1.0,116.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Schacht&lt;2.0, (-0.07*T_Analyse-&gt;ZK_Schacht+1.07)*116.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_Schacht&lt;3.0,(-0.11*T_Analyse-&gt;ZK_Schacht+1.15)* 116.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_Schacht&lt;4.0,(-0.17* T_Analyse-&gt;ZK_Schacht+1.33)*116.0,(-0.65*T_Analyse-&gt;ZK_Schacht+ 3.25)*116.0)))))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+ IF(T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes=0.0,0.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes&lt;1.0, 938.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes&lt;2.0,(-0.15* T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes+1.15)*938.0,IF(T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes&lt;3.0, (-0.25* T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes+1.35)*938.0, IF(T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes&lt;4.0,(-0.5*T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes+ 2.1)*938.0,(-0.1*T_Analyse-&gt;ZK_PortalGes+0.5)*938.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0 </pre>

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.12: Ergänzende der INPUT-Analyse Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
KI_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ((\text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Tunnelroehre} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'GBW'}, 383.0, \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'OBW'}, \\ & 938.0, 661.0)))) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_BetrR\_Ni} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_ZwDeckeTragwerk} = 0.0, 0.0, 675.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_PortalGes} = 0.0, 0.0, 938.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Fluchtwege} = 0.0, 0.0, 159.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Schacht} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Kaverne} = 0.0, 0.0, 116.0)) * \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length}) * \\ & (\text{T\_aN\_INPUT\_TAW\_KI} * 1000000.0))) \\ & (\text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Abd\_Entw} = 0.0, 0.0, 1088.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Ausruistung} = 0.0, 0.0, 754.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Tunnelroehre} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'GBW'}, 383.0, \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'OBW'}, 938.0, 661.0)))) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Erh\_Seintenstr} = 0.0, 0.0, 400.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_BetrR\_Ni} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_ZwDeckeTragwerk} = 0.0, 0.0, 675.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_PortalGes} = 0.0, 0.0, 938.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Fluchtwege} = 0.0, 0.0, 159.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Schacht} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Kaverne} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_1\_TAZ} = 0.0, 0.0, 131.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_2\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_3\_TAZ} = 0.0, 0.0, 51.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_4\_TAZ} = 0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_5\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_6\_TAZ} = 0.0, 0.0, 28.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_7\_TAZ} = 0.0, 0.0, 230.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_8\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 119.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_9\_TAZ} = 0.0, 0.0, 750.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_10\_TAZ} = 0.0, 0.0, 107.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_11\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 50.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_12\_TAZ} = 0.0, 0.0, 71.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_13\_TAZ} = 0.0, 0.0, 124.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_14\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 179.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_15\_TAZ} = 0.0, 0.0, 71.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_16\_TAZ} = 0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_17\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 34.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_18\_TAZ} = 0.0, 0.0, 49.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_19\_TAZ} = 0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_20\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 28.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_21\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_22\_TAZ} = 0.0, 0.0, 21.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_23\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 155.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_24\_TAZ} = 0.0, 0.0, 28.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_25\_TAZ} = 0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_26\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 56.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_27\_TAZ} = 0.0, 0.0, 99.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_28\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_29\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 141.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_30\_TAZ} = 0.0, 0.0, 113.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_31\_TAZ} = 0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_32\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 85.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_33\_TAZ} = 0.0, 0.0, 35.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_34\_TAZ} = 0.0, 0.0, 225.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_35\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_36\_TAZ} = 0.0, 0.0, 174.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_37\_TAZ} = 0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_38\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 75.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_39\_TAZ} = 0.0, 0.0, 42.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_40\_TAZ} = 0.0, 0.0, 13.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_41\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 183.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_42\_TAZ} = 0.0, 0.0, 13.0)) * \\ & \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length} / 1000000.0 \end{aligned}$
Erneuerungswert	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.12: Ergänzende der INPUT-Analyse Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
TAW_Gesamt	$T\_aN\_INPUT\_TAW\_KI+T\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_1+T\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_2$ $+T\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_3$ $\text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ((\text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Abd\_Entw}=0.0, 0.0, 1088.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Ausruestung}=0.0, 0.0, 754.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Tunnelroehre}=0.0, 0.0, \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{Bauweise}='GBW', 383.0, \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{Bauweise}='OBW', 938.0, 661.0)))) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Erh\_Seintenstr}=0.0, 0.0, 400.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_BetrR\_Ni}=0.0, 0.0, 116.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_ZwDeckeTragwerk}=0.0, 0.0, 675.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_PortalGes}=0.0, 0.0, 938.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Fluchtwege}=0.0, 0.0, 159.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Schacht}=0.0, 0.0, 116.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZK\_Kaverne}=0.0, 0.0, 116.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_1\_TAZ}=0.0, 0.0, 131.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_2\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_3\_TAZ}=0.0, 0.0, 51.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_4\_TAZ}=0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_5\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_6\_TAZ}=0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_7\_TAZ}=0.0, 0.0, 230.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_8\_TAZ}=0.0, 0.0, 119.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_9\_TAZ}=0.0, 0.0, 750.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_10\_TAZ}=0.0, 0.0, 107.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_11\_TAZ}=0.0, 0.0, 50.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_12\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_13\_TAZ}=0.0, 0.0, 124.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_14\_TAZ}=0.0, 0.0, 179.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_15\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_16\_TAZ}=0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_17\_TAZ}=0.0, 0.0, 34.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_18\_TAZ}=0.0, 0.0, 49.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_19\_TAZ}=0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_20\_TAZ}=0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_21\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_22\_TAZ}=0.0, 0.0, 21.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_23\_TAZ}=0.0, 0.0, 155.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_24\_TAZ}=0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_25\_TAZ}=0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_26\_TAZ}=0.0, 0.0, 56.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_27\_TAZ}=0.0, 0.0, 99.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_28\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_29\_TAZ}=0.0, 0.0, 141.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_30\_TAZ}=0.0, 0.0, 113.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_31\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_32\_TAZ}=0.0, 0.0, 85.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_33\_TAZ}=0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_34\_TAZ}=0.0, 0.0, 225.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_35\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_36\_TAZ}=0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_37\_TAZ}=0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_38\_TAZ}=0.0, 0.0, 75.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_39\_TAZ}=0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_40\_TAZ}=0.0, 0.0, 13.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_41\_TAZ}=0.0, 0.0, 183.0) + \text{IF}(T\_Analyse \rightarrow \text{ZE\_42\_TAZ}=0.0, 0.0, 13.0)) * T\_Analyse \rightarrow \text{Length}) * ((T\_aN\_INPUT\_TAW\_KI+T\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_1+T\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_2+T\_aN\_INPUT\_TAW\_AI\_3)*1000000.0)))$
TAW_Gesamtindex	$\text{IF}(T\_JAV\_Analysejahr=1.0, 1.0, T\_JAV\_Analysejahr-1.0)$
vorheriges Jahr	

Tab. B.13: Ergänzungen der Analysis Expressions im TMS

Kurzbezeichnung	Berechnung
Analysejahr	YR
AI_1	$\begin{aligned} & (IF(JAV\_Z\_ZE\_16\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_16\_TAZ+1.25)*42.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_21\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_21\_TAZ+1.25)*14.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_22\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_22\_TAZ+1.25)*21.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_23\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_23\_TAZ+1.25)*155.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_24\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_24\_TAZ+1.25)*28.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_25\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_25\_TAZ+1.25)*35.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_32\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_32\_TAZ+1.25)*85.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_37\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_37\_TAZ+1.25)*174.0)+ \\ & IF(JAV\_Z\_ZE\_38\_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV\_Z\_ZE\_38\_TAZ+1.25)*75.0))* \\ & T\_Analyse->Length/1000000.0 \\ & MIN(100.0,MAX(0.0,100.0/((IF(T\_Analyse->ZE\_16\_TAZ=0.0,0.0,42.0)+ \\ & IF(T\_Analyse->ZE\_21\_TAZ=0.0,0.0,14.0)+IF(T\_Analyse->ZE\_22\_TAZ=0.0, \\ & 0.0,21.0)+IF(T\_Analyse->ZE\_23\_TAZ=0.0,0.0,155.0)+ \\ & IF(T\_Analyse->ZE\_24\_TAZ=0.0,0.0,28.0)+IF(T\_Analyse->ZE\_25\_TAZ=0.0, \\ & 0.0,35.0)+IF(T\_Analyse->ZE\_32\_TAZ=0.0,0.0,85.0)+ \\ & IF(T\_Analyse->ZE\_37\_TAZ=0.0,0.0,174.0)+IF(T\_Analyse->ZE\_38\_TAZ=0.0, \\ & 0.0,75.0))*T\_Analyse->Length)*(T\_JAV\_TAW\_AI\_1*1000000.0))) \end{aligned}$
AI_1_Index	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.13: Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_2	<pre> IF(JAV_Z_ZK_Ausruestung=0.0,0.0,IF(JAV_Z_ZK_Ausruestung&lt;1.0, 754.0,IF(JAV_Z_ZK_Ausruestung&lt;2.0,(-0.15*JAV_Z_ZK_Ausruestung+ 1.15)*754.0,IF(JAV_Z_ZK_Ausruestung&lt;3.0,(-0.25* JAV_Z_ZK_Ausruestung+1.35)*754.0,IF(JAV_Z_ZK_Ausruestung&lt;4.0, (-0.5*JAV_Z_ZK_Ausruestung+2.1)*754.0,(-0.1* JAV_Z_ZK_Ausruestung+0.5)*754.0)))))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+ (IF(JAV_Z_ZE_03_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_03_TAZ+1.25)*51.0)+ IF(JAV_Z_ZE_08_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_08_TAZ+1.25)*119.0)+ IF(JAV_Z_ZE_09_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_09_TAZ+1.25)*750.0)+ IF(JAV_Z_ZE_10_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_10_TAZ+1.25)*107.0)+ IF(JAV_Z_ZE_11_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_11_TAZ+1.25)*50.0)+ IF(JAV_Z_ZE_12_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_12_TAZ+1.25)*71.0)+ IF(JAV_Z_ZE_13_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_13_TAZ+1.25)*124.0)+ IF(JAV_Z_ZE_14_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_14_TAZ+1.25)*179.0)+ IF(JAV_Z_ZE_15_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_15_TAZ+1.25)*71.0)+ IF(JAV_Z_ZE_17_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_17_TAZ+1.25)*34.0)+ IF(JAV_Z_ZE_18_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_18_TAZ+1.25)*49.0)+ IF(JAV_Z_ZE_19_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_19_TAZ+1.25)*35.0)+ IF(JAV_Z_ZE_20_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_20_TAZ+1.25)*28.0)+ IF(JAV_Z_ZE_26_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_26_TAZ+1.25)*56.0)+ IF(JAV_Z_ZE_27_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_27_TAZ+1.25)*99.0)+ IF(JAV_Z_ZE_28_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_28_TAZ+1.25)*14.0)+ IF(JAV_Z_ZE_29_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_29_TAZ+1.25)*141.0)+ IF(JAV_Z_ZE_30_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_30_TAZ+1.25)*113.0)+ IF(JAV_Z_ZE_31_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_31_TAZ+1.25)*71.0)+ IF(JAV_Z_ZE_33_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_33_TAZ+1.25)*35.0)+ IF(JAV_Z_ZE_34_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_34_TAZ+1.25)*225.0)+ IF(JAV_Z_ZE_35_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_35_TAZ+1.25)*14.0)+ IF(JAV_Z_ZE_36_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_36_TAZ+1.25)*174.0)+ IF(JAV_Z_ZE_39_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_39_TAZ+1.25)*42.0)+ IF(JAV_Z_ZE_41_TAZ=0.0,0.0,(-0.25*JAV_Z_ZE_41_TAZ+1.25)*183.0))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0 </pre>
	Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.13: Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
AI_2_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ((\text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Ausruestung} = 0.0, 0.0, \\ & 754.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_3\_TAZ} = 0.0, 0.0, 51.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_8\_TAZ} = 0.0, 0.0, 119.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_9\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 750.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_10\_TAZ} = 0.0, 0.0, 107.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_11\_TAZ} = 0.0, 0.0, 50.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_12\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_13\_TAZ} = 0.0, 0.0, 124.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_14\_TAZ} = 0.0, 0.0, 179.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_15\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_17\_TAZ} = 0.0, 0.0, 34.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_18\_TAZ} = 0.0, 0.0, 49.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_19\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_20\_TAZ} = 0.0, 0.0, 28.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_26\_TAZ} = 0.0, 0.0, 56.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_27\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 99.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_28\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_29\_TAZ} = 0.0, 0.0, 141.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_30\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 113.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_31\_TAZ} = 0.0, 0.0, 71.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_33\_TAZ} = 0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_34\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 225.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_35\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_36\_TAZ} = 0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_39\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 42.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_41\_TAZ} = 0.0, 0.0, 183.0))) * \\ & \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length}) * (\text{T\_JAV\_TAW\_AI\_2} * 1000000.0))) \end{aligned}$
AI_3	$\begin{aligned} & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} = 0.0, 0.0, \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} < 1.0, 1088.0, \\ & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} < 2.0, (-0.15 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} + 1.15) * 1088.0, \\ & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} < 3.0, (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} + 1.35) * 1088.0, \\ & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} < 4.0, (-0.5 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} + 2.1) * 1088.0, \\ & (-0.1 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Abd\_Entw} + 0.5) * 1088.0)))) * \\ & \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length} / 1000000.0 + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} < 1.0, 400.0, \\ & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} < 2.0, (-0.15 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} + \\ & 1.15) * 400.0, \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} < 3.0, (-0.25 * \\ & \text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} + 1.35) * 400.0, \\ & \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} < 4.0, (-0.5 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} + \\ & 2.1) * 400.0, (-0.1 * \text{JAV\_Z\_ZK\_Erh\_Seintenstr} + 0.5) * 400.0)))) * \\ & \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length} / 1000000.0 + (\text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_01\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_01\_TAZ} + 1.25) * 131.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_02\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_02\_TAZ} + 1.25) * 71.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_04\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_04\_TAZ} + 1.25) * 42.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_05\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_05\_TAZ} + 1.25) * 14.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_06\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_06\_TAZ} + 1.25) * 28.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_07\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_07\_TAZ} + 1.25) * 230.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_40\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_40\_TAZ} + 1.25) * 13.0) + \text{IF}(\text{JAV\_Z\_ZE\_42\_TAZ} = 0.0, 0.0, \\ & (-0.25 * \text{JAV\_Z\_ZE\_42\_TAZ} + 1.25) * 13.0)) * \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length} / 1000000.0 \end{aligned}$
AI_3_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ((\text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Abd\_Entw} = 0.0, 0.0, \\ & 1088.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Erh\_Seintenstr} = 0.0, 0.0, 400.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_1\_TAZ} = 0.0, 0.0, 131.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_2\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_4\_TAZ} = 0.0, 0.0, 42.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_5\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_6\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 28.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_7\_TAZ} = 0.0, 0.0, 230.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_40\_TAZ} = 0.0, 0.0, 13.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_42\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 13.0)) * \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length}) * (\text{T\_JAV\_TAW\_AI\_3} * 1000000.0))) \end{aligned}$

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.13: Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
KI	<pre> IF(JAV_Z_ZK_Tunnelroehre=0.0,0.0,IF(JAV_Z_ZK_Tunnelroehre&lt;1.0, IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW', 938.0,661.0)),IF(JAV_Z_ZK_Tunnelroehre&lt;2.0,(-0.07* JAV_Z_ZK_Tunnelroehre+1.07)*IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0, IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW',938.0,661.0)), IF(JAV_Z_ZK_Tunnelroehre&lt;3.0,(-0.11*JAV_Z_ZK_Tunnelroehre+1.15)* IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0,IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW', 938.0,661.0)),IF(JAV_Z_ZK_Tunnelroehre&lt;4.0,(-0.17* JAV_Z_ZK_Tunnelroehre+1.33)*IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0, IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW',938.0,661.0))),(-0.65* JAV_Z_ZK_Tunnelroehre+3.25)*IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='GBW',383.0, IF(T_Analyse-&gt;Bauweise='OBW',938.0,661.0)))))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(JAV_Z_ZK_Fluchtwege=0.0,0.0, IF(JAV_Z_ZK_Fluchtwege&lt;1.0,159.0,IF(JAV_Z_ZK_Fluchtwege&lt;2.0, (-0.07*JAV_Z_ZK_Fluchtwege+1.07)*159.0, IF(JAV_Z_ZK_Fluchtwege&lt;3.0,(-0.11*JAV_Z_ZK_Fluchtwege+1.15)* 159.0,IF(JAV_Z_ZK_Fluchtwege&lt;4.0,(-0.17*JAV_Z_ZK_Fluchtwege+ 1.33)*159.0,(-0.65*JAV_Z_ZK_Fluchtwege+3.25)*159.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(JAV_Z_ZK_BetrR_Ni=0.0,0.0, IF(JAV_Z_ZK_BetrR_Ni&lt;1.0,116.0,IF(JAV_Z_ZK_BetrR_Ni&lt;2.0, (-0.07*JAV_Z_ZK_BetrR_Ni+1.07)*116.0,IF(JAV_Z_ZK_BetrR_Ni&lt;3.0, (-0.11*JAV_Z_ZK_BetrR_Ni+1.15)*116.0,IF(JAV_Z_ZK_BetrR_Ni&lt;4.0, (-0.17*JAV_Z_ZK_BetrR_Ni+1.33)*116.0,(-0.65*JAV_Z_ZK_BetrR_Ni+ 3.25)*116.0)))))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+ IF(JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk=0.0,0.0, IF(JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk&lt;1.0,675.0, IF(JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk&lt;2.0,(-0.15*JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk+ 1.15)*675.0,IF(JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk&lt;3.0,(-0.25* JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk+1.35)*675.0, IF(JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk&lt;4.0,(-0.5*JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk+ 2.1)*675.0,(-0.1*JAV_Z_ZK_ZWDeckeTragwerk+0.5)*675.0)))))* T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(JAV_Z_ZK_Schacht=0.0,0.0, IF(JAV_Z_ZK_Schacht&lt;1.0,116.0,IF(JAV_Z_ZK_Schacht&lt;2.0,(-0.07* JAV_Z_ZK_Schacht+1.07)*116.0,IF(JAV_Z_ZK_Schacht&lt;3.0,(-0.11* JAV_Z_ZK_Schacht+1.15)*116.0,IF(JAV_Z_ZK_Schacht&lt;4.0,(-0.17* JAV_Z_ZK_Schacht+1.33)*116.0,(-0.65*JAV_Z_ZK_Schacht+3.25)* 116.0)))))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0+IF(JAV_Z_ZK_PortalGes=0.0, 0.0,IF(JAV_Z_ZK_PortalGes&lt;1.0,938.0,IF(JAV_Z_ZK_PortalGes&lt;2.0, (-0.15*JAV_Z_ZK_PortalGes+1.15)*938.0,IF(JAV_Z_ZK_PortalGes&lt;3.0, (-0.25*JAV_Z_ZK_PortalGes+1.35)*938.0,IF(JAV_Z_ZK_PortalGes&lt;4.0, (-0.5*JAV_Z_ZK_PortalGes+2.1)*938.0,(-0.1*JAV_Z_ZK_PortalGes+0.5)* 938.0)))))*T_Analyse-&gt;Length/1000000.0 </pre>
	Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.13: Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
KI_Index	$\begin{aligned} & \text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ((\text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Tunnelroehre} = 0.0, 0.0, \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'GBW'}, 383.0, \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'OBW'}, \\ & 938.0, 661.0)))) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_BetrR\_Ni} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_ZwDeckeTragwerk} = 0.0, 0.0, 675.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_PortalGes} = 0.0, 0.0, 938.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Fluchtwege} = 0.0, 0.0, 159.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Schacht} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Kaverne} = 0.0, 0.0, 116.0)) * \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length}) * \\ & (\text{T\_JAV\_TAW\_KI} * 1000000.0)) \\ & (\text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Abd\_Entw} = 0.0, 0.0, 1088.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Ausruestung} = 0.0, 0.0, 754.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Tunnelroehre} = 0.0, 0.0, \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'GBW'}, \\ & 383.0, \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise} = \text{'OBW'}, 938.0, 661.0))) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Erh\_Seintenstr} = 0.0, 0.0, 400.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_BetrR\_Ni} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_ZwDeckeTragwerk} = 0.0, 0.0, 675.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_PortalGes} = 0.0, 0.0, 938.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Fluchtwege} = 0.0, 0.0, 159.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Schacht} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Kaverne} = 0.0, 0.0, 116.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_1\_TAZ} = 0.0, 0.0, 131.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_2\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_3\_TAZ} = 0.0, 0.0, 51.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_4\_TAZ} = 0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_5\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_6\_TAZ} = 0.0, 0.0, 28.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_7\_TAZ} = 0.0, 0.0, 230.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_8\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 119.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_9\_TAZ} = 0.0, 0.0, 750.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_10\_TAZ} = 0.0, 0.0, 107.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_11\_TAZ} = 0.0, 0.0, 50.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_12\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_13\_TAZ} = 0.0, 0.0, 124.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_14\_TAZ} = 0.0, 0.0, 179.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_15\_TAZ} = 0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_16\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 42.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_17\_TAZ} = 0.0, 0.0, 34.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_18\_TAZ} = 0.0, 0.0, 49.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_19\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_20\_TAZ} = 0.0, 0.0, 28.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_21\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_22\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 21.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_23\_TAZ} = 0.0, 0.0, 155.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_24\_TAZ} = 0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_25\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_26\_TAZ} = 0.0, 0.0, 56.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_27\_TAZ} = 0.0, 0.0, 99.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_28\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 14.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_29\_TAZ} = 0.0, 0.0, 141.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_30\_TAZ} = 0.0, 0.0, 113.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_31\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 71.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_32\_TAZ} = 0.0, 0.0, 85.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_33\_TAZ} = 0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_34\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 225.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_35\_TAZ} = 0.0, 0.0, 14.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_36\_TAZ} = 0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_37\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 174.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_38\_TAZ} = 0.0, 0.0, 75.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_39\_TAZ} = 0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_40\_TAZ} = 0.0, \\ & 0.0, 13.0) + \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_41\_TAZ} = 0.0, 0.0, 183.0) + \\ & \text{IF}(\text{T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_42\_TAZ} = 0.0, 0.0, 13.0)) * \text{T\_Analyse} \rightarrow \text{Length} / 1000000.0 \end{aligned}$
Erneuerungswert	

Fortsetzung auf der nächsten Seite

Tab. B.13: Ergänzende der Analysis Expressions im TMS (Fortsetzung)

Kurzbezeichnung	Berechnung
TAW_Gesamt	$T\_JAV\_TAW\_KI+T\_JAV\_TAW\_AI\_1+T\_JAV\_TAW\_AI\_2+T\_JAV\_TAW\_AI\_3$ $\text{MIN}(100.0, \text{MAX}(0.0, 100.0 / ((\text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Abd\_Entw}=0.0, 0.0, 1088.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Ausruestung}=0.0, 0.0, 754.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Tunnelroehre}=0.0, 0.0, \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise}='GBW', 383.0, \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{Bauweise}='OBW', 938.0, 661.0)))) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Erh\_Seintenstr}=0.0, 0.0, 400.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_BetrR\_Ni}=0.0, 0.0, 116.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_ZwDeckeTragwerk}=0.0, 0.0, 675.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_PortalGes}=0.0, 0.0, 938.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Fluchtwege}=0.0, 0.0, 159.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Schacht}=0.0, 0.0, 116.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZK\_Kaverne}=0.0, 0.0, 116.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_1\_TAZ}=0.0, 0.0, 131.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_2\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_3\_TAZ}=0.0, 0.0, 51.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_4\_TAZ}=0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_5\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_6\_TAZ}=0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_7\_TAZ}=0.0, 0.0, 230.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_8\_TAZ}=0.0, 0.0, 119.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_9\_TAZ}=0.0, 0.0, 750.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_10\_TAZ}=0.0, 0.0, 107.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_11\_TAZ}=0.0, 0.0, 50.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_12\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_13\_TAZ}=0.0, 0.0, 124.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_14\_TAZ}=0.0, 0.0, 179.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_15\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_16\_TAZ}=0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_17\_TAZ}=0.0, 0.0, 34.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_18\_TAZ}=0.0, 0.0, 49.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_19\_TAZ}=0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_20\_TAZ}=0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_21\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_22\_TAZ}=0.0, 0.0, 21.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_23\_TAZ}=0.0, 0.0, 155.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_24\_TAZ}=0.0, 0.0, 28.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_25\_TAZ}=0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_26\_TAZ}=0.0, 0.0, 56.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_27\_TAZ}=0.0, 0.0, 99.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_28\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_29\_TAZ}=0.0, 0.0, 141.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_30\_TAZ}=0.0, 0.0, 113.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_31\_TAZ}=0.0, 0.0, 71.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_32\_TAZ}=0.0, 0.0, 85.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_33\_TAZ}=0.0, 0.0, 35.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_34\_TAZ}=0.0, 0.0, 225.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_35\_TAZ}=0.0, 0.0, 14.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_36\_TAZ}=0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_37\_TAZ}=0.0, 0.0, 174.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_38\_TAZ}=0.0, 0.0, 75.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_39\_TAZ}=0.0, 0.0, 42.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_40\_TAZ}=0.0, 0.0, 13.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_41\_TAZ}=0.0, 0.0, 183.0) + \text{IF}(T\_Analyse} \rightarrow \text{ZE\_42\_TAZ}=0.0, 0.0, 13.0)) * T\_Analyse} \rightarrow \text{Length}) * ((T\_JAV\_TAW\_KI+T\_JAV\_TAW\_AI\_1+T\_JAV\_TAW\_AI\_2+T\_JAV\_TAW\_AI\_3) * 1000000.0)))$
TAW_Gesamtindex	$\text{IF}(\text{YR} \leq 1.0, 0.0, \text{MAX}(0.0, T\_JAV\_TAW\_Index\_Gesamt - \text{GET\_ANALVAR\_4\_YR}(T\_JAV\_TAW\_Index\_Gesamt, T\_aN\_INPUT\_vorhJahr)))$
Wirkungsindex	$\text{GET4CAV\_PV}(T\_JAV\_TAW\_Wirkungsindex)$
Gesamtwirkungsindex	$\text{GET4CAV\_PV}(T\_JAV\_TAW\_Index\_Gesamt)$
Indexfläche	$\text{GET4CAV\_PV}(T\_JAV\_TAW\_Index\_Gesamt)$