

PROJEKT « EINSTEIN »

Risikobasiertes Entscheidungsmodell zur Ermittlung des optimalen Instandsetzungszeitpunktes von Infrastrukturbauwerken.

Das Ziel dieses Forschungsprojektes war es, ein auf den Prinzipien des Risikomanagements basierendes Modell zur Optimierung der Erhaltungsstrategien für Verkehrsinfrastruktur zu entwickeln. In Erweiterung zur derzeitigen – rein zustandsbasierten – baulichen Instandhaltungsplanung sollen mit den entwickelten Instrumenten Prognosen der mittelfristig benötigten budgetären Ressourcen auf Grundlage gezielter Risikoanalysen der bestehenden Infrastruktur ausgearbeitet werden. Anhand der entwickelten Risiko-Modelle werden die Auswirkungen auf die künftige Instandhaltung in Form von Maßnahmenabfolgen und resultierenden Lebenszykluskosten bewertbar gemacht.

Grundlage der Erweiterung des bisherigen LCM (Life Cycle Management) um den Aspekt der Risikobewertung sind die derzeitigen, sog. Zustands-Streckenbänder (Zustandsklassen der einzelnen Anlagen / Gewerke entlang von Streckenabschnitten).

Demgegenüber können in Zukunft ergänzend sog. Risiko-Streckenbänder generiert werden, die in Aussehen und Handhabung den Zustands-Streckenbändern ähneln, aber einen anderen Beurteilungshintergrund haben.

Das Risiko wird dabei als rechnerische Verknüpfung der sogenannten PoF (Probability of Failure) mit der sogenannten CoF (Consequence of Failure) ermittelt. Mit Failure ist im Rahmen des Instandsetzungsmanagements aber keineswegs Versagen, sondern vielmehr eine schrittweise Einschränkung der Funktionsfähigkeit gemeint.

Der Parameter PoF setzt sich aus den PoD-Funktionen (Probability of Deterioration = Alterungsfunktion) zusammen, welche mittels Confidence-Faktoren in eine adaptierte und statistisch streuende Form übergeführt werden.

Auf der Ebene der Risiko-Konsequenzen (CoF) wird vordergründig unterschieden zwischen den beiden Konsequenzklassen:

□ **„Wirtschaftlichkeit“**

(= alle direkten Kosten, d.h. Baulasträgerkosten inkl. etwaiger Wiederbeschaffungskosten)

□ **„Verfügbarkeit“**

(= ein etwaiger Mautentgang & die entstehenden volkswirtschaftlichen Straßen-Nutzerkosten bzw. etwaige Betriebserschwerungskosten der Eisenbahn)

Facts:

- Laufzeit: 07/2014-06/2016
- Forschungskonsortium:
 - FCP Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH
 - AIT – Austrian Institute of Technology GmbH
 - PMS-Consult Ingenieurbüro für Verkehrswesen und Infrastrukturplanung GmbH
 - VCE Vienna Consulting Engineers ZT GmbH
- Subunternehmer:
 - TÜV Austria
 - Prof. Johann Litzka

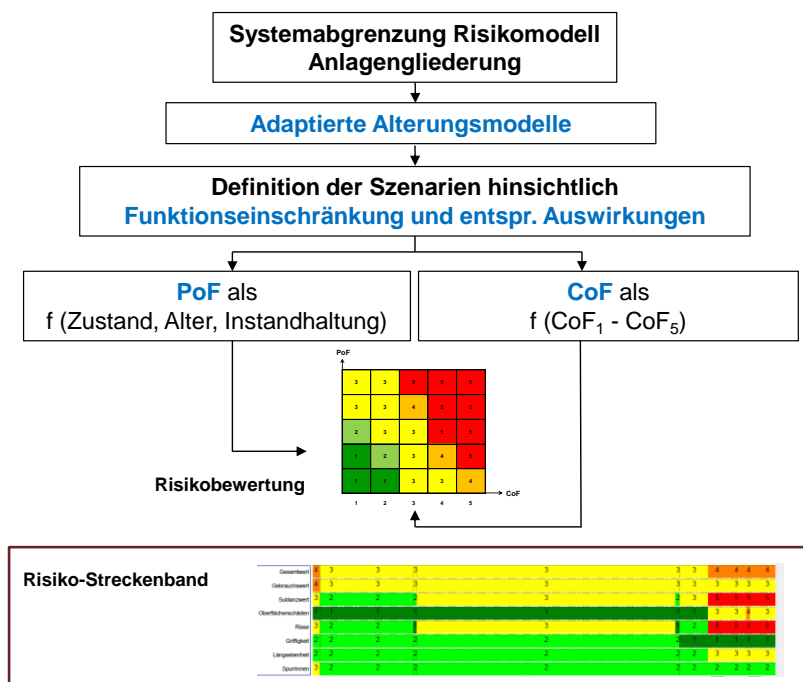


ABB 1. Schematische Darstellung des entwickelten Modelles

Kurzzusammenfassung

Problem

Bisher werden Instandsetzungsmaßnahmen von Infrastruktur rein zustandsbasiert festgelegt. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes sollte daher ein neuer, risikobasierter Zugang entwickelt werden, mit dem die Auswirkungen der unterschiedlichen Erhaltungsstrategien und Maßnahmenabfolgen berechnet werden können, um die betriebs- und volkswirtschaftlich vorteilhafteste Variante zu ermitteln.

Gewählte Methodik

In der Prozessindustrie sind „Risk based Inspection (RBI) und „Risk based Maintenance“ (RBM) bereits gelebte Praxis im Zuge des Instandhaltungsmanagements. Insofern wurde bei diesem Forschungsprojekt auf wesentliche methodische Grundlagen aufgebaut. Das Risiko wird dabei als rechnerische Verknüpfung der sogenannten PoF (Probability of Failure) mit der sogenannten CoF (Consequence of Failure) ermittelt.

Das Risiko des Funktionsverlustes einer Anlage bzw. damit einhergehende Auswirkungen in Form von Erhaltungs-/ Reinvestitionsmaßnahmen werden stets sowohl auf Anlagenebene als auch auf Netzebene bewertet und in den Entscheidungsprozess integriert.

Ergebnisse

Die im Rahmen des vorliegenden Projekts entwickelten Modelle wurde für die Auftraggeber ÖBB und ASFINAG in entsprechend spezifizierte Modellapplikationen übergeführt und anhand von Pilotprojekten für Straßen- und Schieneninfrastruktur getestet.

Schlussfolgerungen

Die vorliegenden Risiko-Analysen verfolgen das Ziel, im Vorfeld einer Maßnahmenableitung gleichermaßen wie die Zustandsbasierte LCM-Analyse zum Zwecke der Priorisierung der Dringlichkeit potenzieller Instandsetzungsmaßnahmen herangezogen zu

werden. Dabei wird keinerlei Favorisierung von einem der dargelegten Zugänge vorgenommen, alle drei Verfahren sollen gleichermaßen erarbeitet und für eine ausgewogene Maßnahmenentscheidung auf möglichst breiter Basis bzw. unter Berücksichtigung verschiedener Gesichtspunkte herangezogen werden.

English Abstract

Within EINSTEIN, a model for the optimization of maintenance strategies for traffic infrastructure on a micro and macro level and based on risk management principles was developed. This model serves to calculate the effects and risks of different maintenance strategies and procedure sequences and to determine the most favourable option from the operational and economic point of view. In the scope of the project, the model will be implemented in an asset management software and be tested by means of two pilot projects

Impressum:

ÖBB-Infrastruktur AG

DI Andreas Schön
 Streckenmanagement und Anlagenentwicklung, Stab LCM und Innovationen
 andreas.schoen2@oebb.at,
 www.oebb.at

ASFINAG

DI Christoph Antony,
 Asset Management
 Projektentwickler Bau Region Süd
 christoph.antony@asfinag.at,

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

DI Dr. Christian Pecharda,
 Programmleitung Mobilität
 Sensengasse 1, 1090 Wien
 christian.pecharda@ffg.at,
 www.ffg.at

November, 2016

EINSTEIN

Risikobasiertes Entscheidungsmodell zur Ermittlung des optimalen Instandsetzungszeitpunktes von Infrastrukturbauten

Dokumentation der EINSTEIN – Systemapplikationen für Schienen- und Straßeninfrastruktur incl. Demoprojekten und Bericht

Deliverable D4/5.1

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Pilotinitiative Verkehrsinfrastrukturforschung 2013

Monat 10/2016

Versionshistorie

Version	Änderung	Bearbeiter
0.1	Input AIT (Kapitel 1)	STEFAN
0.2	Input PMS-Consult (Kapitel 3)	WENINGER-VYCUDIL BROZEK
0.3	Input FCP/VCE	WIDMANN VEIT-EGERER
0.4	Review Prof. LITZKA	LITZKA
0.5	Überarbeitung VCE	WIDMANN VEIT-EGERER
0.6	Überarbeitung PMS-Consult	WENINGER-VYCUDIL BROZEK

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung.....	5
1.1	Genereller methodischer Rahmen	5
1.1.1	Allgemeines.....	5
1.1.2	Risikodefinition	6
1.2	Entwicklung einer Risikomatrix	11
1.2.1	Risikogrenzwerte und -strategien.....	11
1.2.2	Mögliche Maßnahmen	12
2	EINSTEIN – APPLIKATION SCHIENE	14
2.1	Analyse des bisherigen Bestandsmanagement ÖBB	14
2.2	Grundzüge eines künftigen, risikobasierten Erhaltungsmanagements	15
2.3	Vorstellung Risikomodell.....	16
2.3.1	Adaptierung Risikomatrix.....	18
2.4	Integration der Algorithmen in die Lebenszyklusanalyse.....	20
2.4.1	Analyse des Brückeninventars.....	20
2.4.2	Grundlagen der Degradationsmodelle	20
2.4.3	Entwicklung der adaptierten Degradationsmodelle	21
2.4.4	Probability of Deterioration.....	24
2.4.5	Entwicklung und Kalibrierung des PoF Modells	25
2.4.6	Definition CoF - Wirtschaftlichkeit	26
2.4.7	Definition CoF - Verfügbarkeit.....	29
2.5	Umsetzung des Risikomodells anhand der ÖBB Strecke Bruck/Mur-Graz.....	33
2.5.1	Vorgehensweise	33
2.5.2	Streckenbeschreibung der Pilotstrecke Bruck/Mur – Graz	34
2.5.3	Kurzbeschreibung Zustandsbasiertes LCM	35
2.5.4	PoD Verlauf und PoF der Brückenobjekte auf der Pilotstrecke	36

2.5.5	Risikoanalyse Wirtschaftlichkeit	37
2.5.6	Risikoanalyse Verfügbarkeit	47
2.6	Vergleich der drei vorliegenden Maßnahmenableitungen	57
2.7	Zusammenfassung Risikoapplikation Schieneninfrastruktur	63
3	EINSTEIN – APPLIKATION STRASSE	65
3.1	Eingangsdaten Risikoanalyse	65
3.2	Vorstellung Risikomodell und Risikomatrix	65
3.3	Integration der Algorithmen in die Lebenszyklusanalyse.....	67
3.3.1	Probability of Deterioration PoD.....	67
3.3.2	Entwicklung und Kalibrierung des PoD Modells	70
3.3.3	Definition CoF Wirtschaftlichkeit	71
3.3.4	Definition CoF Verfügbarkeit.....	72
3.4	Umsetzung des Risikomodells anhand der ASFINAG Streckenabschnitte.....	74
3.4.1	Gewählte Vorgehensweise	74
3.4.2	Optimierungsverfahren	78
3.4.3	Veränderung in den Zustandsverteilungen	80
3.5	Zusammenfassung Risikoapplikation Straßeninfrastruktur.....	96
4	Zusammenfassung Risikoworkshop.....	98
	Literaturverzeichnis.....	100

1 EINLEITUNG

1.1 Genereller methodischer Rahmen

1.1.1 Allgemeines

Die Auswahl von Erhaltungsmaßnahmen und deren Durchführungszeitpunkte erfolgte vor 10-15 Jahren fast ausschließlich auf der Grundlage von Worst-First-Reihungen und nur in einzelnen Teilbereichen auf Basis von Lebenszyklusmodellen mit deterministischen Prognosefunktionen. In den letzten Jahrzehnten wurden jedoch die Ansprüche an Sicherheit und Verfügbarkeit technischer Anlagen stetig höher, wodurch sich zwangsläufig auch die Anforderungen an die bauliche Erhaltung bzw. Instandsetzung immer aufwändiger gestalten.

Gegenstand des VIF-Projektes EINSTEIN ist die Entwicklung eines risikobasierten Entscheidungsmodells zur Abschätzung des optimalen Instandsetzungszeitpunktes von Verkehrsinfrastrukturbauten. Ausgehend von den Prinzipien des Risikomanagements sollen Erhaltungsstrategien für Verkehrsinfrastruktur auf Mikro- und Makroebene entwickelt werden. Mit diesem Modell sollen die Auswirkungen und Risiken unterschiedlicher Instandhaltungsstrategien und Maßnahmenabfolgen berechnet und die betriebswirtschaftlich bzw. die volkswirtschaftlich vorteilhafteste Variante ermittelt werden.

Die sog. Risk Based Inspection (RBI) ist eine Analysemethodik, die ursprünglich in der Prozessindustrie entwickelt wurde und der Planung von Inspektionsintervallen sowie der Ableitung von Maßnahmen auf Basis einer Risikobeurteilung dient [1]. Mit Hilfe der RBI können die Auswirkungen und Risiken unterschiedlicher Instandhaltungsstrategien und Maßnahmenabfolgen berechnet und die betriebswirtschaftlich und volkswirtschaftlich vorteilhafteste Variante ermittelt werden.

1.1.2 Risikodefinition

Risiko

Risiko ist das Produkt von Eintrittshäufigkeit bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit und Ereignis-schwere bzw. Schadensausmaß. Die Eintrittshäufigkeit bezeichnet dabei die Häufigkeit, mit der ein Ereignis innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls eintritt [2]. Das Risiko kann nur für eine konkrete Situation mit konkreten Parametern bestimmt werden.

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Konsequenz des Versagens}$$

Das Risiko einer Aktivität A (R_A) ist eine Charakteristik bezogen auf die möglichen n_E Ereignisse, die als Folge der Aktivität eintreten können. R_A kann wie folgt berechnet werden:

$$R_A = \sum_{i=1}^{n_E} R_{E_i} = \sum_{i=1}^{n_E} P_{E_i} \times C_{E_i}$$

PoF CoF

PoF..... Probability of Failure
CoF..... Consequence of Failure

ALARP-Prinzip

Im Rahmen von Risikobewertungen wird festgelegt, welche Risiken im akzeptablen Bereich (grün), welche im ALARP-Bereich (gelb) und welche im inakzeptablen Bereich (rot) liegen. Das Akronym ALARP steht für „As Low As Reasonably Practicable“ (so niedrig, wie vernünftigerweise praktikabel). Darunter versteht man all jene Maßnahmen, die das Risiko mit einem vertretbaren Mitteleinsatz (Kosten in Relation zur erzielten Risikoreduktion) weiter verringern [3].

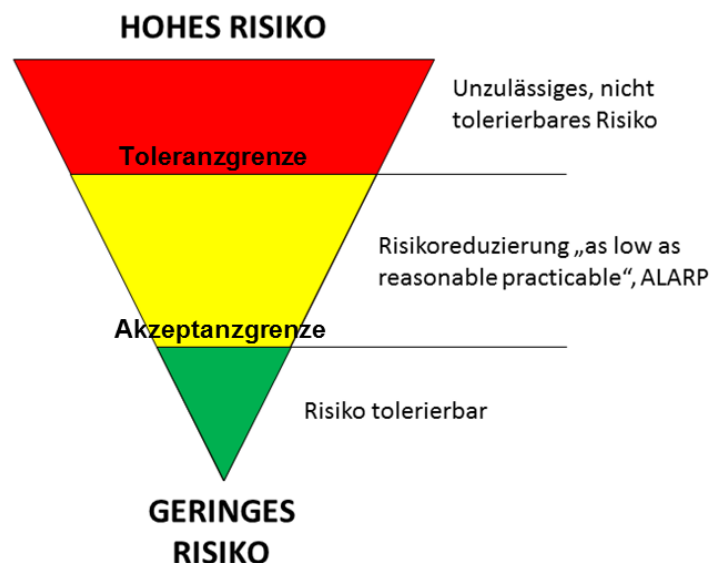


Abbildung 1: Darstellung des ALARP-Prinzips

Probability of Failure

Im klassischen Bau- und Erhaltungsmanagement versteht man unter dem Begriff „Versagenswahrscheinlichkeit“ (engl. Probability of Failure, PoF) die Wahrscheinlichkeit, dass ein Bauwerk/Tragwerk den vorherrschenden Beanspruchungen, denen es unter normalen Bedingungen ausgesetzt ist, nicht mehr Stand hält. Im Instandsetzungsmanagement wird mit der PoF hingegen eine Einschränkung der Funktionsfähigkeit in verschiedenen Abstufungen verbunden.

Der Parameter der PoF setzt sich aus den PoD-Funktionen (Probability of Deterioration = Alterungsfunktion) zusammen, welche mittels sog. Confidence Factors (CF) in eine adaptierte und statistisch streuende Form übergeführt werden.

$$\mathbf{PoF = PoD \times CF}$$

wobei:

PoF = Probability of Failure (Wahrscheinlichkeit eines Funktionsverlustes)

PoD = Probability of Deterioration (Alterungsfunktion)

CF = Confidence Factor (Konfidenzfaktor)

Probability of Deterioration

Die Abschätzung des optimalen Zeitpunktes für Instandsetzungs- bzw. Reinvestitionsmaßnahmen beruht in erster Linie auf der Entwicklung realitätsnaher Alterungsfunktionen (Probability of Deterioration, PoD). Deren Basis bilden die gemessenen Zustandsdaten bzw. die auf objektiven Kriterien beruhenden Zustandsbeurteilungen und ermöglichen eine Abschätzung des durchschnittlichen Alterungsverhaltens einzelner Bauwerke/Bauteile (siehe Abbildung 2).

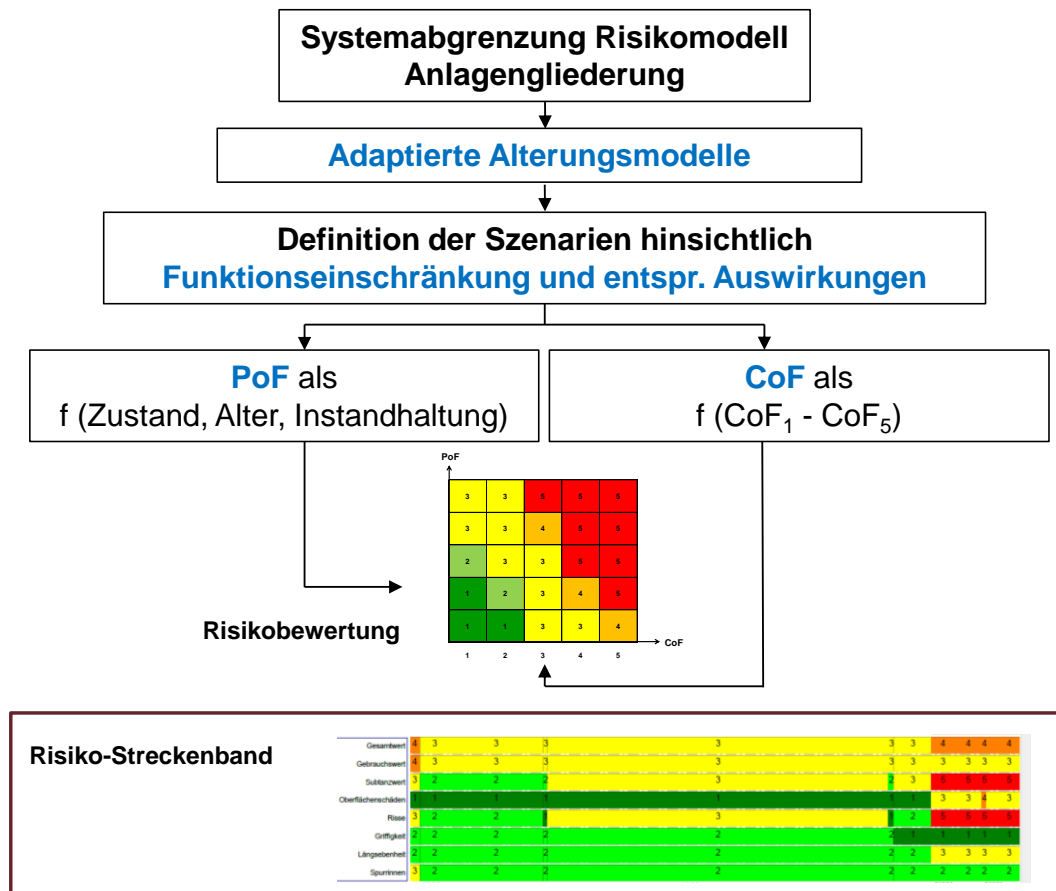


Abbildung 2: Schematischer Überblick über EINSTEIN Risikomodell

Confidence Factor

In der Risk Based Inspection werden verschiedene Konfidenzfaktoren (Confidence Factors, CF) verwendet, um die Qualität der Ausgangsdaten, die der Beurteilung zugrunde liegen, zu bewerten. Die Effektivität von Inspektionen und Prüfungen werden gemäß Tabelle 1 durch drei Teilfaktoren maßgebend beeinflusst:

1. Die **Fähigkeit** (Efficiency **E**) der Methode bzw. der Erfahrung des Inspektors, den Schaden bzw. das Schadensbild zu finden und dessen Schwere möglichst genau zu beschreiben.
2. Der **Umfang** (Scope **S**) der geplanten Inspektionen bzw. Prüfungen am Bauwerk/Bauteil
3. Die **Anzahl** (History **H**) der in der Vergangenheit durchgeführten Inspektionen/Prüfungen

Der Konfidenzfaktor CF wird gemäß folgender Formel berechnet:

$$CF = E(\text{fficiency}) \times S(\text{cope}) \times H(\text{istory})$$

Consequence of Failure

In der RBI wird das Risiko mittels der beiden Parameter „Versagenswahrscheinlichkeit“ (PoF) und „Konsequenz des Versagens“ (Consequence of Failure, CoF) bestimmt. Die Konsequenzebene ist im Allgemeinen nur schwer direkt beeinflussbar, da sie durch die Prozess- bzw. technische Rahmenbedingungen in den Anlagen definiert wird. Eine Konsequenzanalyse beinhaltet stets die Wahl eines bestimmten (Worst-Case) Szenarios und geht in weiterer Folge davon aus, dass ein Versagen (der Infrastruktur, eines Produktionsprozesses etc.) stattfindet. Maßnahmen, welche die Konsequenzen beeinflussen können (sogenannte Schutzbarrieren), sind nicht Teil der klassischen RBI, sondern werden vielmehr in diversen Process Safety Methoden wie z.B. der LOPA (Layer of Protection Analysis) und HAZOP (Hazard and Operability Analysis) behandelt [3].

Tabelle 1: Vorschlag für Konfidenzfaktoren (CF) im Zuge des Projektes EINSTEIN

Efficiency (E)	E
Keine Inspektion durchgeführt oder unzureichende Methode → keine belastbare Aussage über einen Zustand oder die Restlebensdauer möglich	1,1
Standard Inspektion bzw. Methodik. → Beschreibung von Zustand <u>oder</u> Restlebensdauer mittels qualitativer Daten	1,0
Inspektion bzw. Methodik über dem technischen Standard (Best available technology) → Beschreibung von Zustand und Restlebensdauer mittels <u>quantitativer</u> Daten	0,9
Scope (S)	S
Stichprobengröße (Prüfumfang) zu gering (gemäß Erfahrungen mit dem Objekt bzw. internationale Erfahrungswerte)	1,1
Prüfumfang gemäß nationaler Standards (RVS) bzw. entsprechend den Erfahrungen mit dem Objekt sowie internationale Erfahrungswerte → 75-100% des Objekts geprüft	1,0
Ergänzende Sonderprüfungen durchgeführt und im Rahmen des Instandhaltungsmanagement berücksichtigt	0,9
History (H)	H
Es stehen keine Daten von Prüfungen zur Verfügung bzw. sind diese älter als ein RVS- Prüfzyklus	1,1
Es stehen Daten eines Prüfzyklus gem. RVS (Prüfung inkl. Kontrollen) zur Verfügung	1,0
Es stehen Daten mehrerer RVS-Prüfzyklen zur Verfügung	0,9

1.2 Entwicklung einer Risikomatrix

In den vergangenen Jahrzehnten wurden weltweit unterschiedlichste Ansätze und Methoden zur Risikobewertung entwickelt (z.B. Functional Hazard Analysis, Engineering Safety Management, Fehlerbaumanalyse). Seit langem werden in den unterschiedlichen Bereichen der Risikoforschung auch sogenannte Risikomatrizen verwendet, um technische Systeme und deren Risiken untersuchen und bewerten zu können.

Risikomatrizen können daher zur Beurteilung aller im Rahmen einer Risikoanalyse auftretenden Risiken verwendet werden, d.h. zur Feststellung, ob das vorliegende Restrisiko unter Berücksichtigung aller vorhandenen Gegenmaßnahmen tolerierbar ist, oder ob zusätzliche Maßnahmen zur Risikoreduktion erforderlich sind.

Im Rahmen mehrerer Projektbesprechungen mit den Auftraggebern (ASFINAG, ÖBB) wurde Übereinstimmung erzielt, dass die im Projekt EINSTEIN zu entwickelnde Risikomatrix als 5x5 Matrix aufgebaut sein soll, wobei auf der senkrechten Achse die Wahrscheinlichkeit eines Funktionsverlustes (PoF) und auf der waagrechten Achse die damit verbundenen Konsequenzen (CoF) für die einzelnen Szenarien aufgetragen sind.

Hinsichtlich des Schadensausmaßes wird bei der ASFINAG zwischen den beiden Komponenten

- Wirtschaftlichkeit
- Verfügbarkeit von Bauwerken

unterschieden.

Für die ÖBB erfolgte aus den ursprünglich 5 definierten Konsequenzklassen im Sinne eines einheitlichen Risikomodells eine Einschränkung auf die sinngemäß identen Konsequenzklassen für den weiteren Projektablauf:

- Auswirkungen auf die (direkten) Kosten
- Auswirkungen auf die Netzverfügbarkeit (indirekte Kosten)

1.2.1 Risikogrenzwerte und -strategien

Im Rahmen der Risk based Inspection werden unterschiedliche Assets (Bauwerke/Tragwerke) in periodischen Abständen inspiziert und mittels eines einheitlichen Bewertungsschemas Risikowerte für verschiedene Konsequenzklassen berechnet. Als Risikogrenzwert ist jener Bereich definiert, der ein unzulässiges, nicht tolerierbares Risiko aufweist. Oberste Prämisse des Asset Managements ist es sodann, derartige Risiken primär

zu behandeln und durch die Wahl geeigneter Maßnahmen dafür Sorge zu tragen, dass der PoF entsprechend vermindert wird, bis der ALARP-Bereich (gelb) erreicht wird (siehe Abbildung 3).

Für Bauwerke/-teile mit geringem Risiko (grün) besteht hingegen kein unmittelbarer Handlungsbedarf und die Erhaltungsstrategie kann auf ein Minimum reduziert werden.

Ziel eines risikobasierten Erhaltungsmanagements ist es, die Anteile der Bauwerke mit geringem bzw. hohem Risiko weitgehend zu reduzieren und möglichst viele Objekte im ALARP-Bereich „anzusiedeln“.

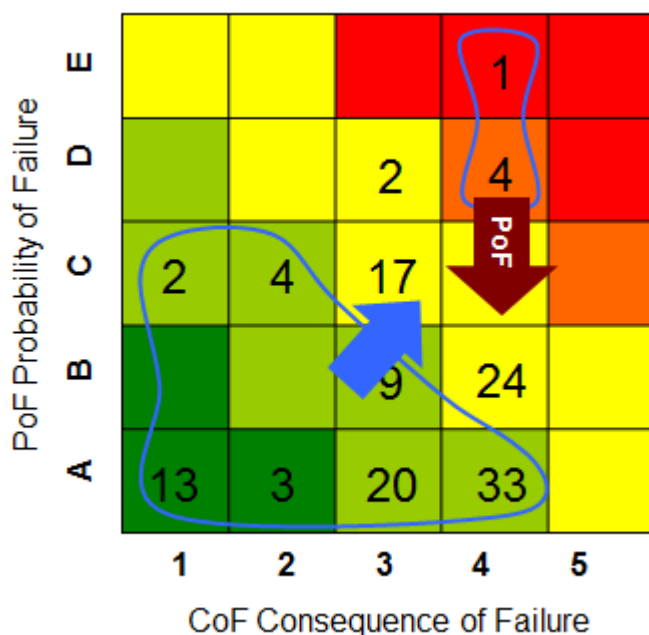


Abbildung 3: Maßnahmenstrategien eines risikobasierten Entscheidungsmodells

1.2.2 Mögliche Maßnahmen

Wie im Kapitel 1.1.2 ausgeführt, setzt sich die Versagenswahrscheinlichkeit (PoF) aus den Parametern PoD und CF zusammen.

Weisen Assets ein unzulässig hohes Risiko auf, sollte in einem ersten Schritt die Qualität, Konsistenz und ggf. die Zeitreihe der Daten, die der Beurteilung zugrunde liegt, geprüft werden (CF-Parameter H). Mittels Verkürzung der Inspektionsintervalle, genauerer Inspektionsmethoden über dem Stand der Technik (jeweils CF-Parameter E) sowie der Erhöhung des Prüfumfanges (S) ergibt sich ein umfassenderes „Lagebild“, welches bei der Planung von Maßnahmen zu berücksichtigen ist. Detaillierte Daten, als Basis für Instandsetzungsentscheidungen, führen mittelbar zu einer Reduktion der Versagenswahrschein-

lichkeit, da der (plötzliche) Eintritt durch besser abgestimmte Erhaltungsmaßnahmen unwahrscheinlicher wird.

Wie bereits erwähnt, ist es im Rahmen der RBI schwer möglich, Maßnahmen zu setzen, die unmittelbar auf die Konsequenzebene wirken, d.h. die Schwere des Ereignisses reduzieren. Derartige Maßnahmen sind insbesondere im strategischen Bereich (Verkehrswegeplanung) angesiedelt und berücksichtigen Fragestellungen der Verfügbarkeit von (Strecken-) Abschnitten, d.h. der Bereitstellung zusätzlicher Fahrstreifen bzw. Maßnahmen zur Beschränkung der Verkehrsmengen.

2 EINSTEIN – APPLIKATION SCHIENE

2.1 Analyse des bisherigen Bestandsmanagement ÖBB

Die Ausgangslage für die Entwicklung des risikobasierten Erhaltungsmanagements stellt das derzeitige Zustandsnoten-basierte Bestandsmanagement der ÖBB dar, welches in Deliverable D 2.1 ausführlich beschrieben ist.

Dabei werden bei den Gewerken UB (Unterbau), Konstruktiver Ingenieurbau (KI) sowie Oberbau (OB) Zustände der Anlagen / Bauwerke gemäß den gültigen, sog. IH-Plänen (Instandhaltungsplänen) beurteilt. Derzeit werden bei den periodisch vorgesehenen Inspektionen Zustandsnoten vergeben und gleichzeitig Zeithorizonte der notwendigen Erhaltungsmaßnahmen festgelegt. Der lt. IH-Plan vorzunehmenden Zustandsbewertung liegt ein Benotungssystem (1 bis 5) zugrunde, das sich auf alle Komponenten und Sicherheitsrisiken der Anlage bezieht. Für alle sicherheitsrelevanten, auf Einzelkomponenten bezogenen Schäden oder Zustände, die zu Sofortmaßnahmen oder einer Behebung mit Fristen führen, kann für jede Bewertungsklasse der Zusatz S angegeben werden. D.h. der Risikoaspekt ist derzeit in den im IH-Plan definierten Beurteilungsnoten impliziert, im Rahmen der Zustandsbeurteilung von Tragwerken wird aber keine explizite Risikoanalyse durchgeführt.

- Ausnahme: Nachrechnung bestehender Eisenbahnbrücken nach ONR 24008; Stufe 3 - rechnerische Beurteilung der Zuverlässigkeit nach ÖNORM EN 1990.
 - Anmerkung: In den Gewerken Elektrotechnik (ET) und Leit- und Sicherungstechnik (LS) werden teilweise Störungsanalysen durchgeführt und daraus die Zuverlässigkeit der Anlagen beurteilt.
- ⇒ Die notwendige Systemabgrenzung im Forschungsprojekt EINSTEIN führte aufgrund der vorhandenen Datenlage und auf Wunsch der ÖBB zu einer Fokussierung bei der vertieften Risiko-Untersuchung auf Brücken, wobei dabei eine weitere Einschränkung auf Massivbrücken (d.h. excl. Ko-Schutz auf Stahlbrücken) vorgenommen wurde.

2.2 Grundzüge eines künftigen, risikobasierten Erhaltungsmanagements

Folgende Festlegungen wurden im Zuge der Modell-Erarbeitung vorgenommen:

- Die Idee eines alternativen, risikobasierten Erhaltungsmanagements ist es, dieses ebenfalls auf Grundlage der periodisch vorgenommenen, visuellen Inspektionen aufzusetzen.
- Die Risikoanalysen erfolgen auf der Ebene der einzelnen baulichen Anlagen.

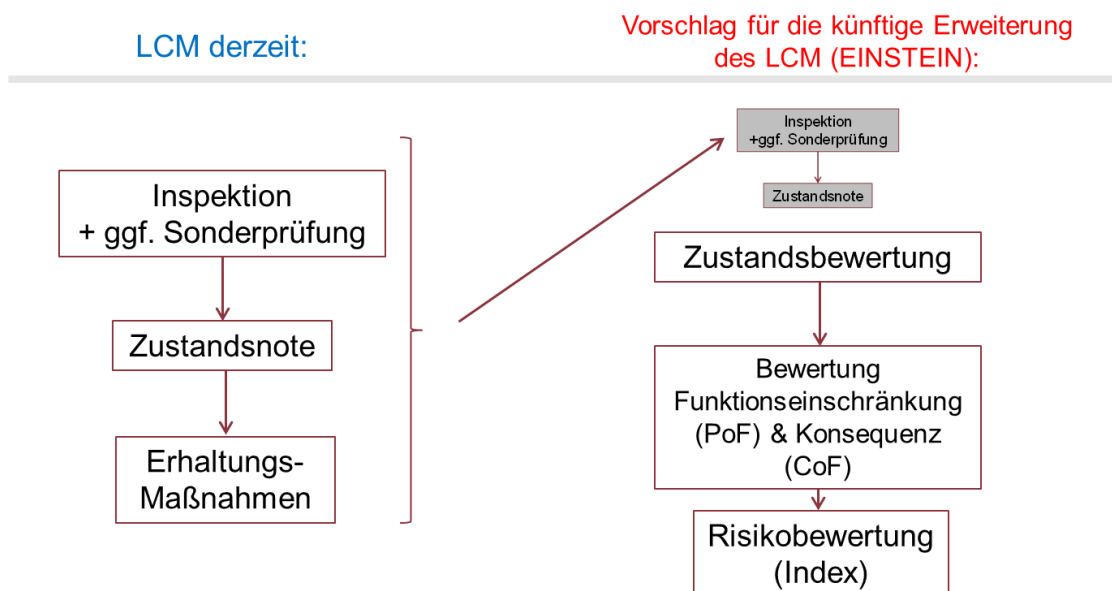


Abbildung 4: Vorschlag Erweiterung LCM

Wie bereits mehrfach erläutert (z.B in Kapitel 1.1.2) erfolgt die Risikoanalyse im Wesentlichen anhand zweier Säulen

- PoF (Eintrittswahrscheinlichkeit einer Funktionseinschränkung)
- CoF (Konsequenz dieses Eintretens)

Die Einteilung der PoF-Klassen im Risikomodell sollte die nachfolgenden Kriterien berücksichtigen

- Abbildung verschiedener Zustandsszenarien während der durchlaufenen Altersstadien
- Eine evidente Abhängigkeit von der jeweiligen Instandsetzungshistorie

Die Einteilung der CoF-Klassen im Risikomodell sollte auf die nachfolgenden beiden Hauptgruppen eingeschränkt werden

- C1 Wirtschaftlichkeit (= Auslösen erhöhter, direkter Kosten)
- C2 Verfügbarkeit (= Auslösen erhöhter, indirekter Kosten)

2.3 Vorstellung Risikomodell

Grundlage für das risikobasierte Erhaltungsmanagement sind adaptierte Alterungsmodelle (PoD), anhand denen Prognosen hinsichtlich Funktionseinschränkungen erstellt werden können. Für jedes Prognosejahr werde PoF und CoF bzw. das Risiko (Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit) ermittelt. Analog zu Zustandsstreckenbändern werden anhand der Risikoklassifizierung Risikostreckenbänder erstellt (Abbildung 5).

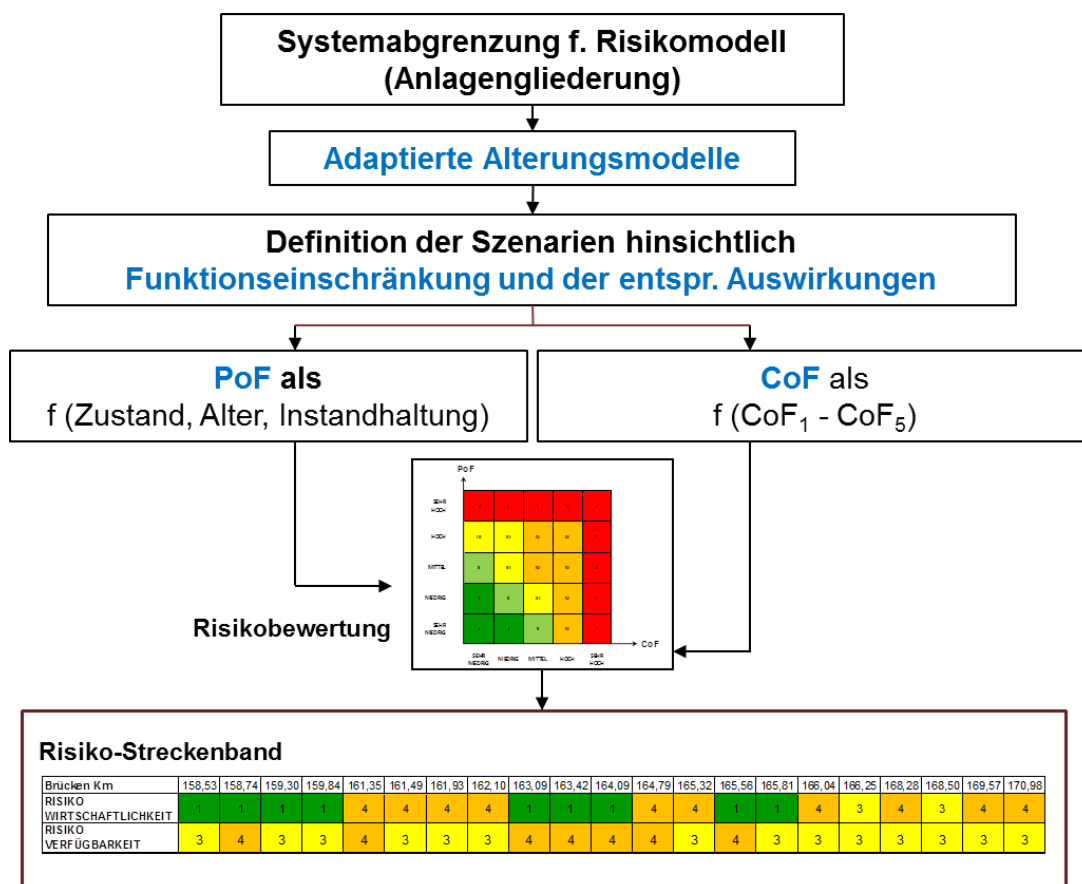


Abbildung 5: Schematischer Überblick zum EINSTEIN Risikomodell

Für die Risikoklassifizierung sind folgende Schritte erforderlich (Abbildung 6):

- 1) Festlegung der „Probability of Failure“ (PoF)
- 2) Ermittlung der „Consequence of Failure“ (CoF)
- 3) Kombination aus PoF und CoF \Rightarrow Risikoklassifizierung

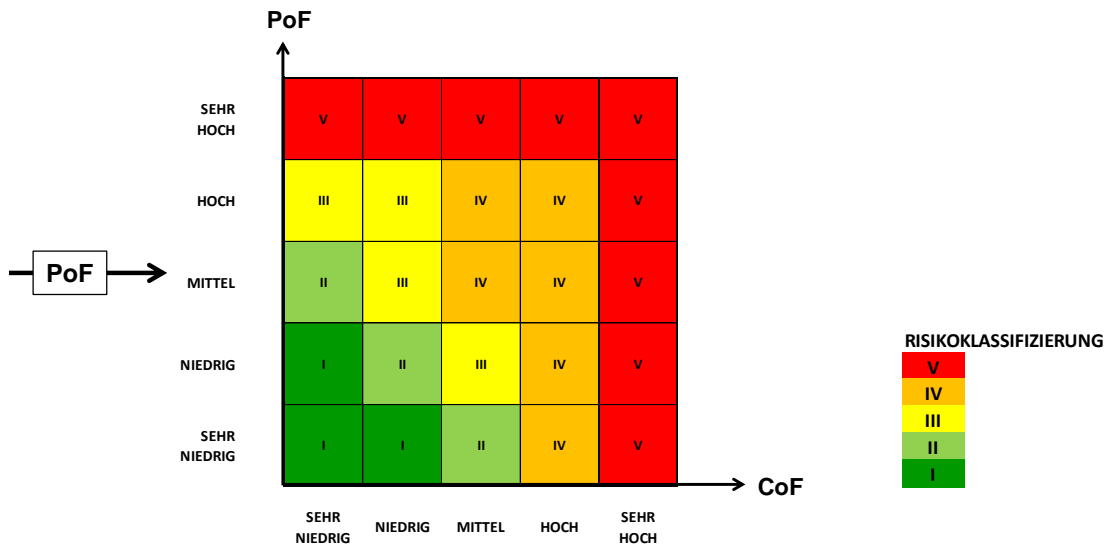


Abbildung 6: Vorgehensweise Risikobewertung

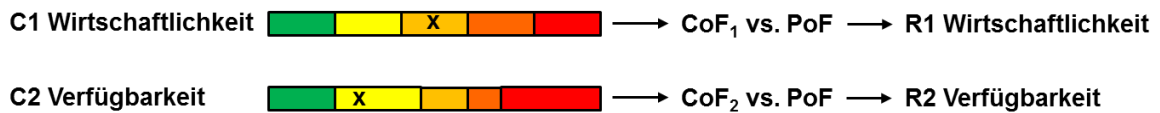


Abbildung 7: Spezifizierung Risikobewertung

Ausdrücklicher Wunsch seitens der ÖBB war es, dass im Zuge der Risikobeurteilung die definierten Hauptgruppen der „Consequence of Failure“ getrennt betrachtet werden (siehe Abbildung 7). Dies gilt sowohl für die Ermittlung der Risikoklassen, als auch für die Darstellung als Streckenband. Eine rechnerische Überlagerung verschiedener Risikoklassen („verschmiertes“ bzw. gewichtetes Risiko o.ä.) im Zuge der Betrachtung unterschiedlicher Anlagen oder Strecken ist aus Sicht der ÖBB generell nicht zielführend.

In Abbildung 8 ist als Vorschau auf die späteren Ausführungen ein Ablaufdiagramm für die Ermittlung des Risikos-Wirtschaftlichkeit und des Risikos-Verfügbarkeit dargestellt. Auf der linken Seite sind die wesentlichsten Eingangsparameter für

- die Berechnung des CoF_{Wirtschaftlichkeit} (oben),

- die Berechnung des PoD (Mitte) und
- die Ermittlung des CoF_Verfügbarkeit (unten) aufgelistet.

Details zur Ermittlung und Berechnung der Eingangsparameter werden in Kapitel 2.4.4 (PoD), Kapitel 2.4.6 (CoF Wirtschaftlichkeit) und Kapitel 2.4.7 (CoF Verfügbarkeit) dargestellt.

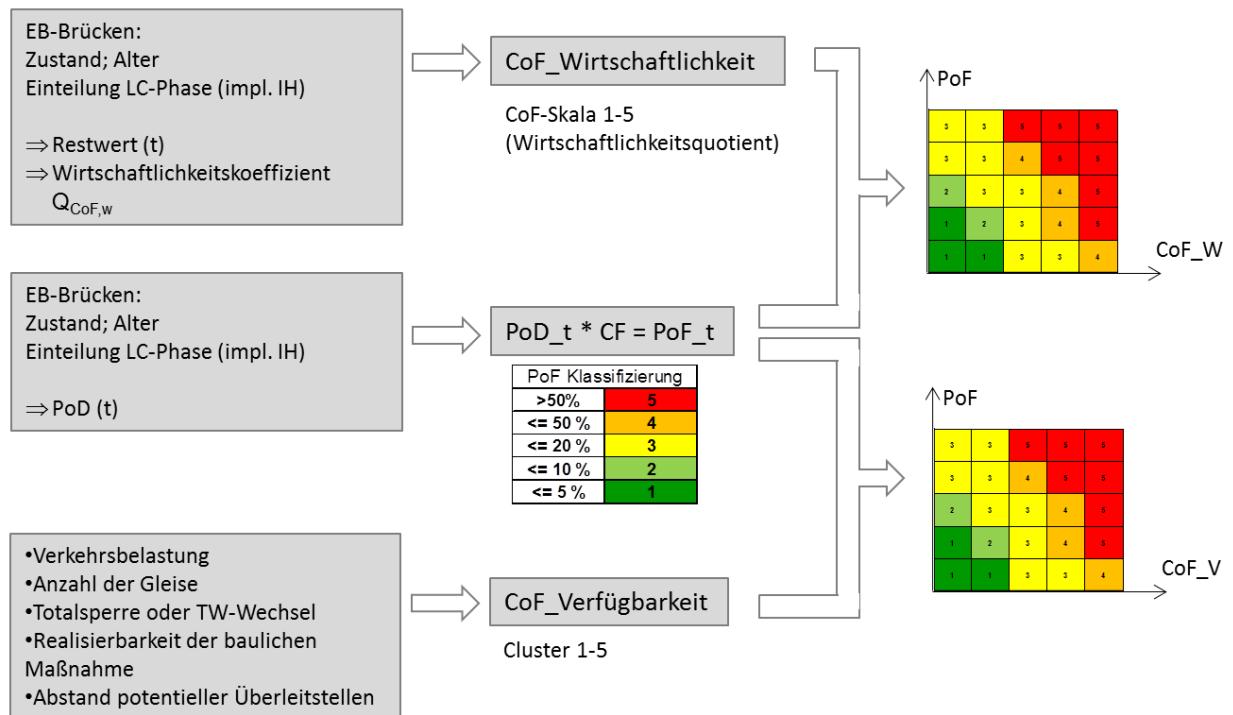


Abbildung 8: Ablaufschema Risikoanalyse für Eisenbahnbrücken

2.3.1 Adaptierung Risikomatrix

Der erste Entwurf (Abbildung 9) für eine Risikomatrix für bauliche Instandhaltung stellt das unmittelbare Resultat eines Projekt-Workshops bei der ASFINAG dar. Die Risikomatrix ist – in Anlehnung an die 5 Zustandsklassen bei der Zustandsbewertung – als 5x5-Matrix konzipiert. Dieser Entwurf wurde mit der Risikomatrix aus dem Risikohandbuch [4] der ÖBB abgeglichen (Abbildung 10), wobei folgende Unterschiede festgestellt wurden:

- 1) 4x4-Matrix vs. 5x5-Matrix
Die Matrix im Risikohandbuch (ÖBB) ist eine 4x4-Matrix
- 2) Grenzen PoF-Klassen

In der ÖBB-Risikomatrix wird die Eintrittswahrscheinlichkeit von 6-20% in der Klasse "gering" zusammengefasst. In der EINSTEIN-Risikomatrix ist dieser Bereich der Eintrittswahrscheinlichkeit in 2 Klassen mit folgenden Grenzen unterteilt: 5-10% PoF und 10-20% PoF.

3) Betrachtungszeitraum 2 Jahre vs. eine Inspektionsperiode (4-6 Jahre)

Die ÖBB-Risikomatrix geht beim Betrachtungszeitraum T für Risiken vom laufenden Geschäftsjahr bzw. die 2 folgenden Planungsjahre aus. Der Betrachtungszeitraum für die EINSTEIN-Risikomatrix wurde an die 4-6-jährige Inspektionsperiode von Bauwerken angepasst.

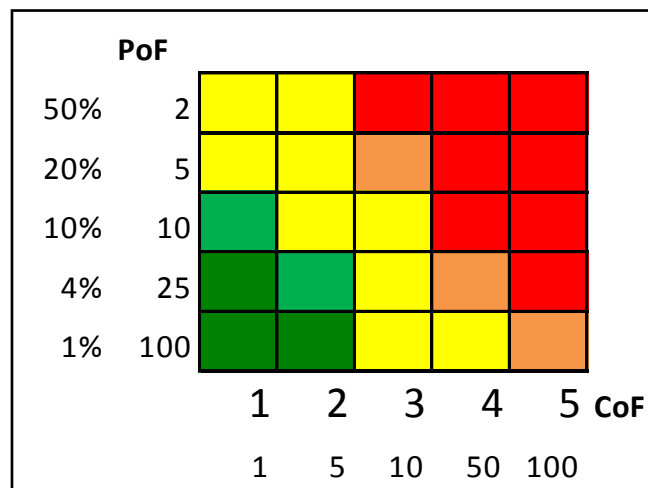


Abbildung 9: Erster konsolidierter Entwurf eines EINSTEIN Risikomodells für bauliche Instandhaltung

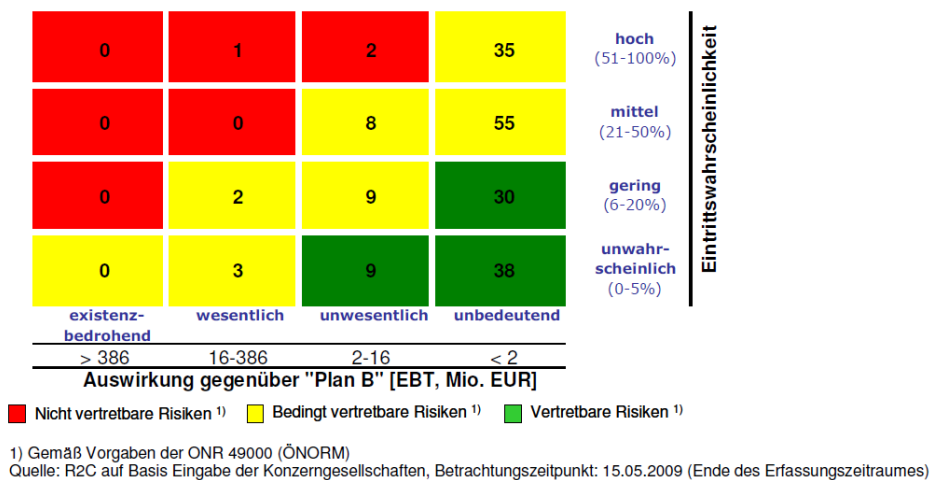


Abbildung 10: Risiken im ÖBB-Konzern – Risikomatrix (aus [4])

Aufgrund dieser Unterschiede wurde die ursprüngliche EINSTEIN-Risikomatrix für das System Schieneninfrastruktur adaptiert (Abbildung 11).

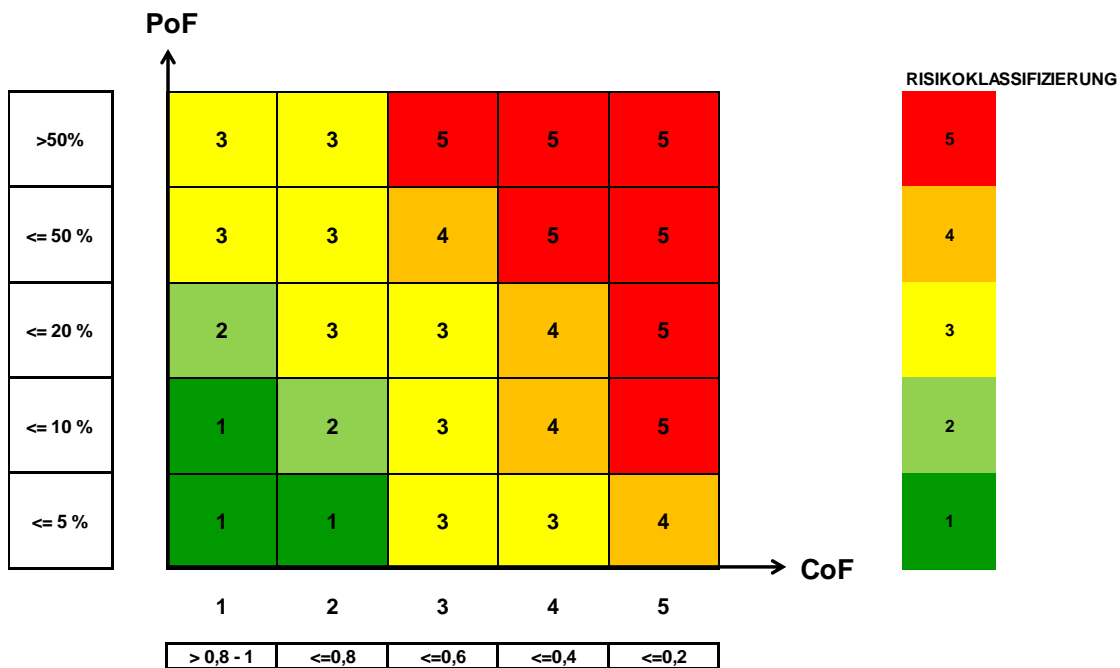


Abbildung 11: Einstein-Risikomatrix für Schieneninfrastruktur

2.4 Integration der Algorithmen in die Lebenszyklusanalyse

2.4.1 Analyse des Brückeninventars

In Deliverable D2.1 [5] sind die Ergebnisse der Analyse des Brückeninventars ausführlich dokumentiert.

2.4.2 Grundlagen der Degradationsmodelle

Die Grundlage der für das ÖBB Brückennetz von VCE/FCP hergeleiteten Alterungsmodelle ist ein Zustandsindex zur gewichteten Beurteilung von lokalen Bauteilen (z.B. Tragwerk, Abdichtung, Korrosionsschutz) von Brücken (Abbildung 12), dessen Ursprung – wie in Deliverable D2.1, Kapitel 4 [5] dargelegt - bereits auf Europäischer Normungsebene stan-

standardisiert wurde [6]). Die Alterungsmodelle wurden ursprünglich für Straßenbrücken entwickelt, wurden aber in den vergangenen Jahren sukzessive für das FCP Life-Cycle Modell für die ÖBB für Eisenbahnbrücken und in weiterer Folge auch für andere Anlagen des Schieneninfrastrukturnetzes (Mauern, Oberleitung) modifiziert und weiterentwickelt (siehe z.B. [7]).

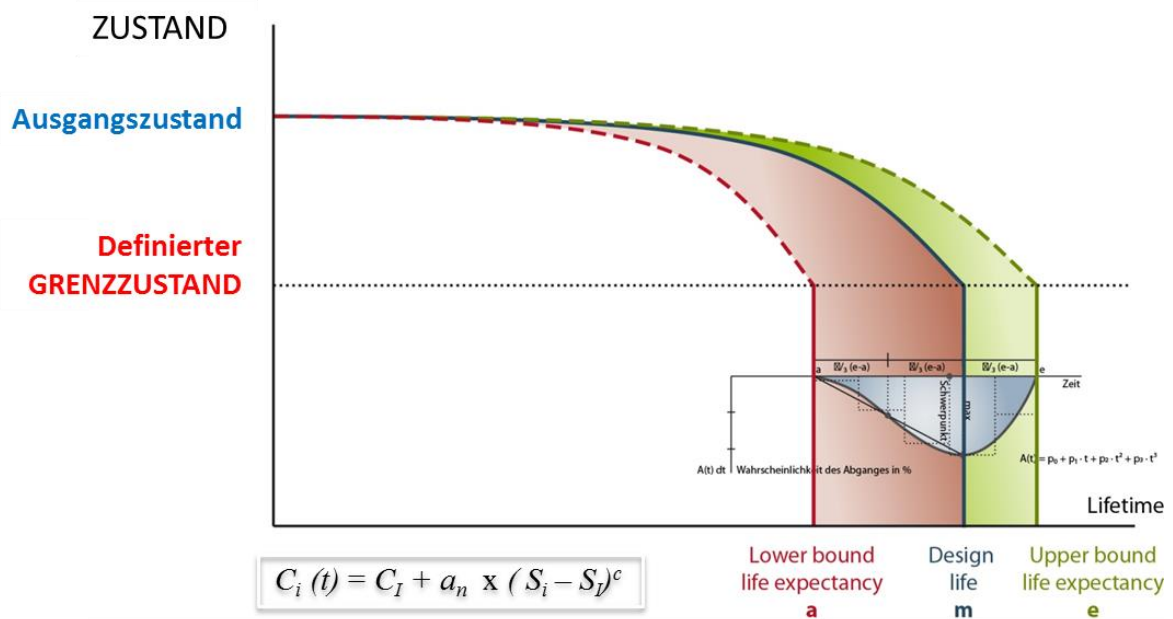


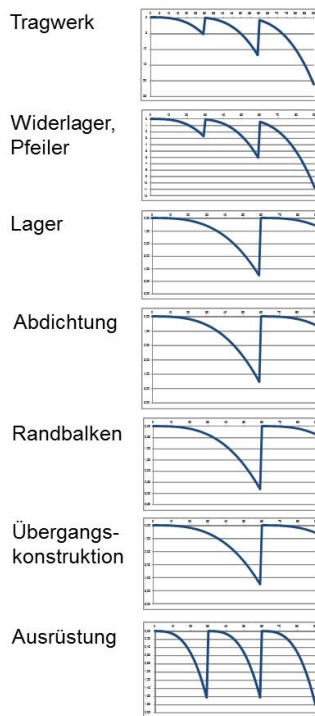
Abbildung 12: Grundmodell Bauwerksalterung

2.4.3 Entwicklung der adaptierten Degradationsmodelle

Als Grundlage für die Ermittlung der sog. PoD (=Probability of Deterioration) Funktionen wurde das bestehende Massivbrückenmodell für Eisenbahnbrücken verwendet.

Dieses Degradationsmodell geht von Degradationsmodellen der einzelnen relevanten Bauteile aus. Die Überlagerung der lokalen Bauteile bzw. Komponenten zu einer globalen Degradationsfunktion erfolgt nicht-linear über die Festlegung eines sog. Zustandsindex, in dem die einzelnen Bauteile mit unterschiedlicher Gewichtung (je nach Ihrer Bedeutung und daher ihrem Beitrag an der Gesamtdegradation der baulichen Anlage) eingehen (Abbildung 13).

Lokale Alterung (Ebene Komponenten)



Resultierende globale Alterung (bauwerksspezifisch)

Bauwerkstyp: Brücke / Einfeld-Träger - Platte - Stahlbeton

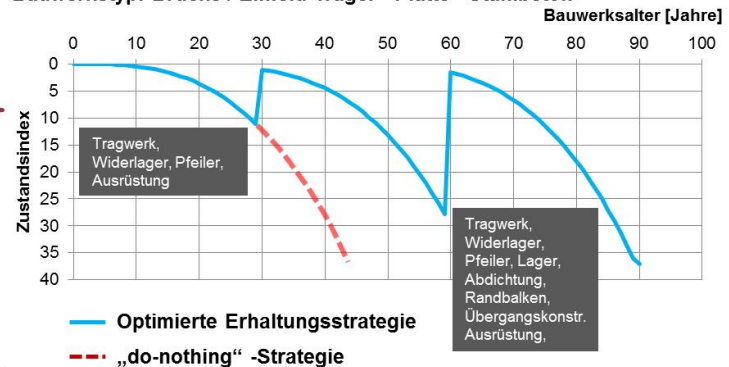


Abbildung 13: Lokale Alterung und Überlagerung zur resultierenden globalen Alterung am Beispiel einer Brücke

Die analytischen Prognoserechnungen werden üblicherweise anhand des sog. Zustandsindex durchgeführt, welcher mathematisch zu jedem betrachteten Zeitpunkt der Nutzungsdauer der Anlage in eine ganzzahlige Zustandsnote übergeführt werden kann.

In Abbildung 14 ist das Prinzip der Überführung des indexbasierten Zustandsverlaufs anhand einer sog. Übertragungsfunktion in den stufenförmigen Zustandsnotenverlauf dargestellt. Der Alterungsverlauf über die gesamte theoretische Nutzungsdauer dient als Grundlage für die Einschätzung der realen Alterung gegenüber dem erwarteten Alterungsverlauf.

Wie dem Deliverable D2.1 [5] in ausführlicher Form entnommen werden kann, handelt es sich bei der für Eisenbahn-Massivbrücken entwickelten PoD Funktion um ein generalisiertes 3-Phasen-Degradationsmodell, in dem alle Bauwerkskomponenten (Tragwerk & Ausrüstung) vollständig abgebildet sind. Die Eingriffe sind planmäßig in den Jahren 30 und 60 eingetaktet und bewirken jeweils eine Hebung der Zustandsnote von Klasse 3 in die Klasse 2.

Alterungsmodell Brücke

Typ Einfeld-Träger - Stahlbeton

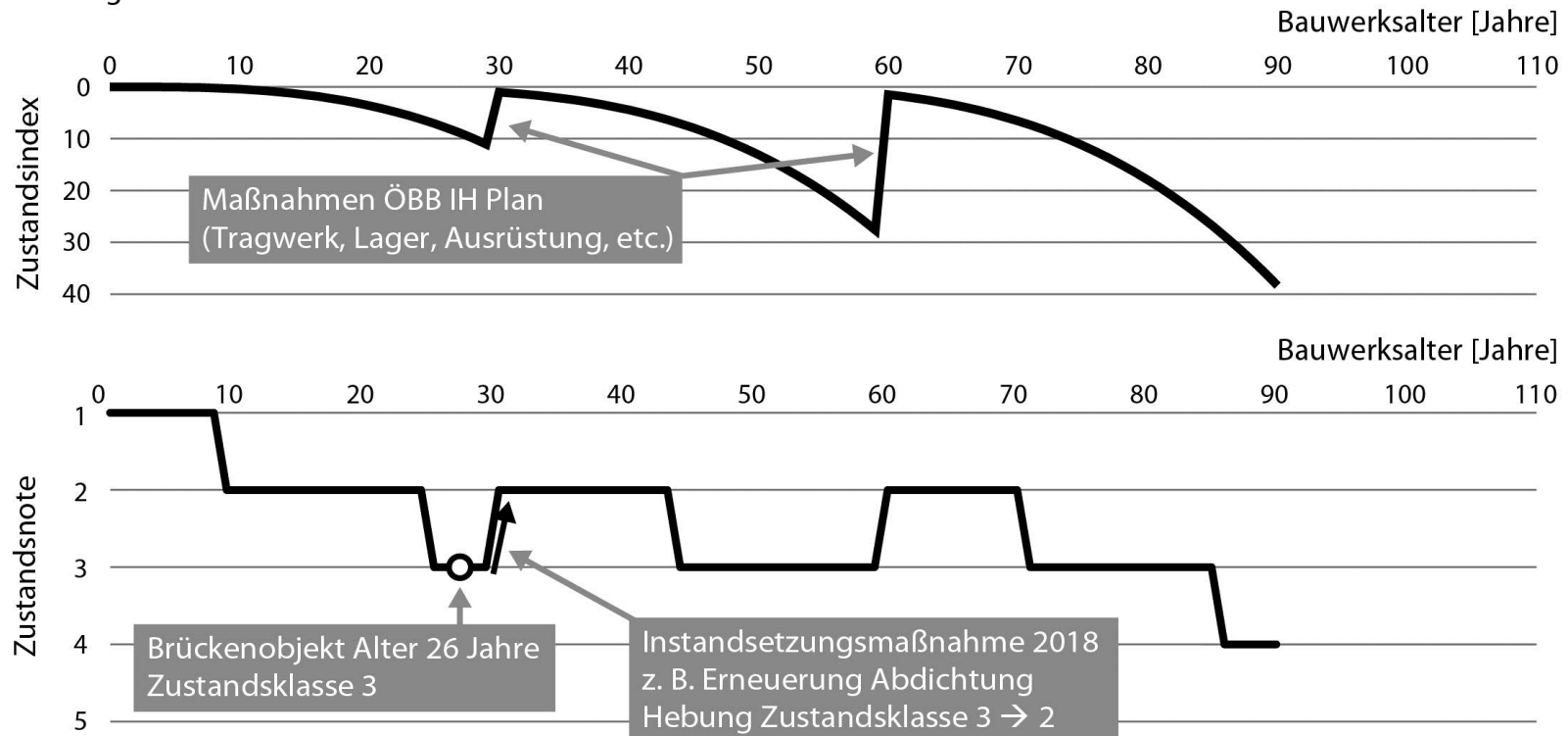


Abbildung 14: Prinzip der Überführung eines indexbasierten Zustandsverlaufs in einen Verlauf anhand von Zustandsnoten (Abszisse: Alter in Jahre; Ordinate: Condition Index (oben) bzw. Zustandsnote (unten))

2.4.4 Probability of Deterioration

Das in Kapitel 2.4.3 vorgestellte Degradationsmodell dient als Ausgangsbasis für die Berechnung der Probability of Deterioration (PoD). Die Zustandsklasse 5 entspricht dabei einer PoD von 1,0 bzw. 100%.

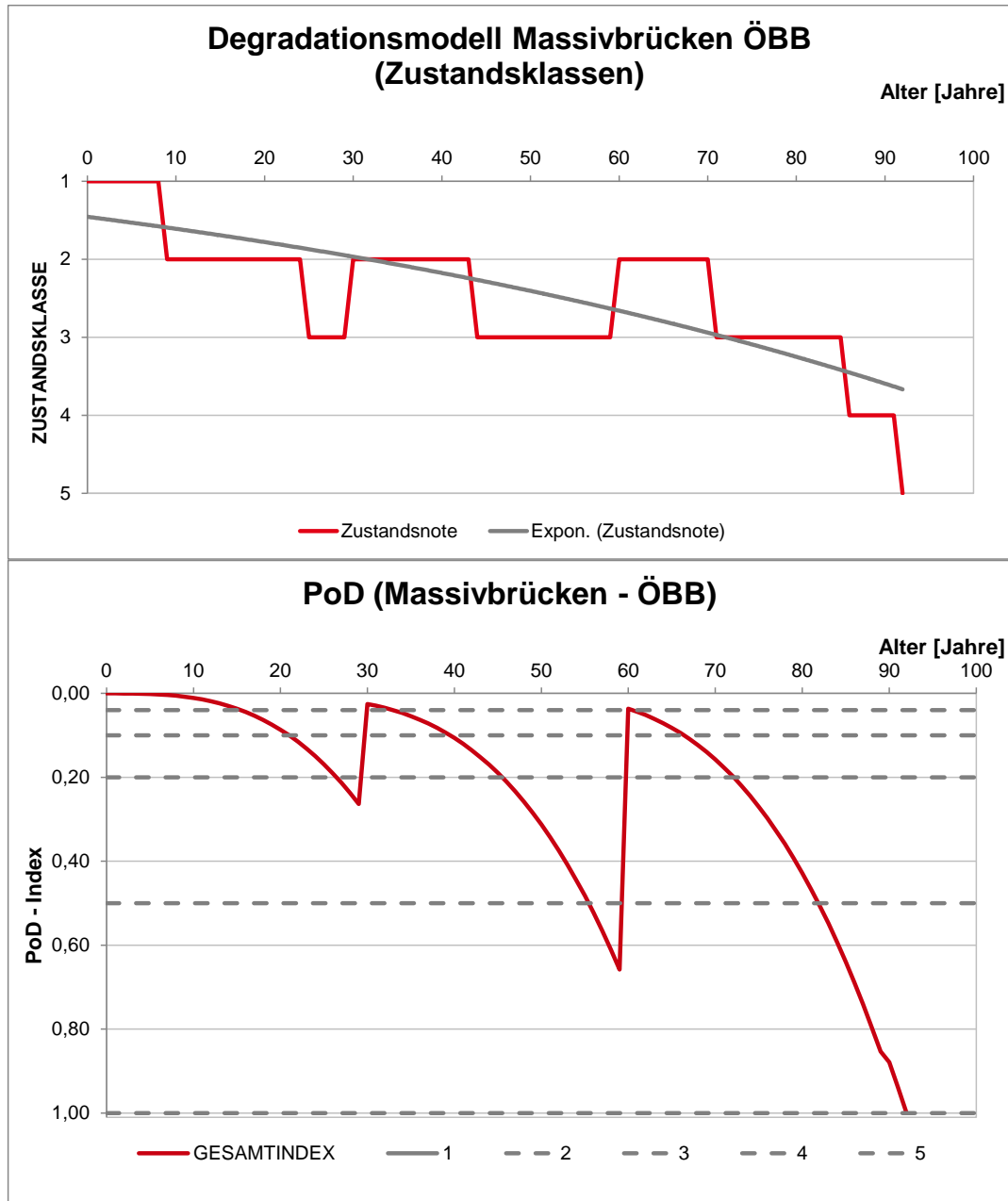


Abbildung 15: Verlauf der Zustandsklassen und Verlauf der Probability of Deterioration (PoD) für Massivbrücken im ÖBB-Netz (Abszisse: Alter in Jahre; Ordinate: Zustandsklassen (oben) bzw. PoD-Index (unten))

2.4.5 Entwicklung und Kalibrierung des PoF Modells

Wie bereits in Kapitel 1.1.2 einführend erläutert, errechnet sich die PoF anhand des folgenden Zusammenhangs:

$$\mathbf{PoF = PoD \times CF}$$

mit:

PoF = Probability of Failure (Wahrscheinlichkeit eines Funktionsverlustes)

PoD = Probability of Deterioration (Alterungsfunktion)

CF = Confidence Factor (Konfidenzfaktor)

Die Probability of Deterioration (PoD) stellt dabei eine Verlaufsfunktion zur Zustandsentwicklung anhand der entwickelten Degradationsmodelle dar, während der Confidence Factor (CF) ein Maß für die Datenqualität und –tiefe darstellt, welches sich auf die Art und Intervalle der Zustandserfassung bezieht.

Die Zuordnung der PoF-Klassen erfolgt anhand der in Abbildung 16 tabellierten Grenzwerte der PoD-Funktion.

Zuordnung PoF	
PoF Klasse	PoD-Grenzen
1	<= 0,05
2	<= 0,1
3	<= 0,2
4	<= 0,5
5	> 0,5

Abbildung 16: Überführung der PoD-Funktion in PoF-Klassen für Massivbrücken im ÖBB-Netz

2.4.5.1 Konfidenzfaktoren CF

Die Ermittlung des Konfidenzfaktors CF erfolgt nach dem bereits in Kapitel 1.1.2 bzw. Tabelle 1 beschriebenen Schema.

Durch die Berücksichtigung des CF-Wertes fließt die Qualität der Daten explizit in das Bewertungsschema mit ein. Besteht aufgrund eines hohen PoF-Wertes ein unakzeptables Risiko, so soll versucht werden, den PoF zu senken. Dazu stehen folgende Möglichkeiten zur Verfügung:

1. Überprüfung der existierenden Daten auf Qualität, Übertragungsfehler etc.
2. Datenlage verbessern durch Erweiterung der Inspektionen → neue Daten schaffen
3. Instandhaltung, Verbesserung, Erneuerung etc.

Diese drei möglichen Schritte sollten in der dargestellten Reihenfolge durchgeführt werden, da dadurch die größtmögliche Effizienz – sowohl in zeitlicher Sicht, als auch bezüglich der Kosten – gewährleistet ist.

2.4.6 Definition CoF - Wirtschaftlichkeit

Im Zuge der Risikobetrachtung-Wirtschaftlichkeit wird das Auslösen erhöhter, direkter Kosten im Zuge der baulichen Erhaltung infolge Anlagen-Erneuerung bzw. infolge einer tiefgreifenden Instandhaltung bewertet.

Für die Ermittlung des CoF Wirtschaftlichkeit werden folgende Kostenkomponenten mitberücksichtigt:

- Restwert und Restwertentwicklung während der Betrachtungsperiode
- Direkte Kosten für etwaige implementierte Instandsetzungen (= Zustandshebungen)
- potentielle Neubaukosten

Der Restwert der Anlage wird für jedes Jahr berechnet und steht in einem direkten rechnerischen Zusammenhang zum Degradationsverlauf der Anlage. Wird eine Instandhaltungsmaßnahme gesetzt, so wirkt sich diese positiv auf den Restwert der Anlage aus.

Als Grundlage für die Berechnung des CoF-Wertes wird für jedes Jahr der Betrachtungsperiode der Wirtschaftlichkeitsquotient $Q_{CoF,w}$ berechnet, der als Quotient aus variablem Restwert (Degradation über die Zeit und IH) und dem Wiederbeschaffungswert der Anlage dargestellt wird:

$$Q_{CoF,w,t} = \frac{\text{Restwert der Anlage}}{\text{Wiederbeschaffungswert}}$$

Die Klassifizierung des CoF-Wertes einer Anlage erfolgt ausgehend vom berechneten Wirtschaftlichkeitsquotienten nach den in Abbildung 17 aufgelisteten Grenzen.

Q _{CoFw}	CoFw
[0-0.2)	5
[0.2-0.4)	4
[0.4-0.6)	3
[0.6-0.8)	2
>=0.8	1

Abbildung 17: Überführung des Wirtschaftlichkeitsquotienten in CoF-Klassen für Massivbrücken im ÖBB-Netz

In Abbildung 18 sind für eine Eisenbahn-Massivbrücke die Soll-Verläufe des Restwerts, des Wirtschaftlichkeitsquotienten und der CoF-Klassifikation über die gesamte Nutzungsdauer dargestellt.

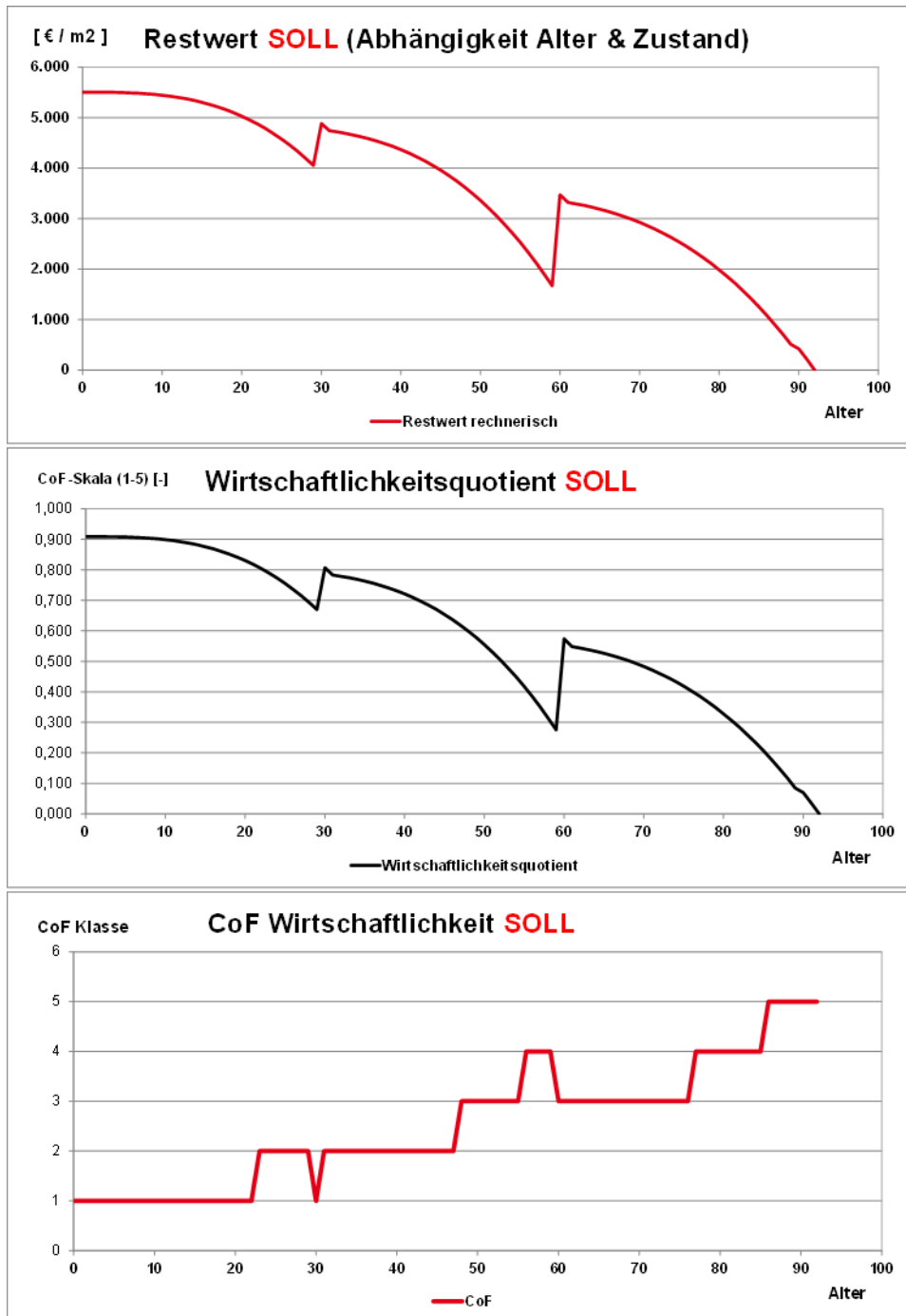


Abbildung 18: Soll-Verlauf des Restwerts, des Wirtschaftlichkeitsquotienten und der CoF Klassen-Wirtschaftlichkeit für Massivbrücken im ÖBB-Netz

2.4.7 Definition CoF - Verfügbarkeit

Um die Auswirkungen von Instandsetzungs- bzw. Reinvestmaßnahmen an Brückenobjekten im Streckennetz der ÖBB auf die Verfügbarkeit der jeweiligen Strecke kategorisieren zu können, wurden folgende fünf Klassifikationsparameter ausgewählt:

- 1) Verkehrsbelastung
- 2) Anzahl der Gleise
- 3) Umleitungsmöglichkeiten
- 4) A) Realisierbarkeit der baulichen Maßnahme
B) Abstand zu potentiellen Überleitstellen

Ad 1) Streckenbelastung:

Das Streckennetz der ÖBB wird derzeit im Sinne der Bedeutung des jeweils betrachteten Abschnittes in drei Kategorien eingeteilt:

- > 50.000Bt/Tag, Gleis (entspr. KAT A)
- 15.000-50.000 Bt/Tag, Gleis (entspr. KAT A)
- < 15.000 Bt/Tag, Gleis (=KAT B & C)

Diese Kategorien wurden für die Kategorisierung des CoF Verfügbarkeit übernommen und folgendermaßen bezeichnet:

- Sehr hohe Streckenbelastung = Verkehrsbelastung > 50.000Bt/Tag, Gleis
- Hohe Streckenbelastung = Verkehrsbelastung 15.000-50.000 Bt/Tag, Gleis
- Weniger hohe Streckenbelastung = Verkehrsbelastung < 15.000 Bt/Tag, Gleis

Ad 2) Anzahl der Gleise (Tragwerkswechsel vs. Totalsperre):

In dieser Kategorie wird berücksichtigt, ob das Brückenobjekt ein- oder mehrgleisig ist. Bei mehrgleisigen Strecken bzw. mehrgleisigen Streckenabschnitten gibt es Brückenobjekte die aus mehreren nebeneinander gelegenen, baulich getrennten, eingleisigen Tragwerken bestehen oder mehrgleisige Tragwerke (monolithischer Querschnitt). Diese Bauwerkseigenschaft wird als maßgeblich betrachtet, ob im Rahmen der Instandsetzung bzw.

des Abbruchs und Neubaus des Brückenobjekts eine **Totalsperre** der Strecke erforderlich ist, oder ob die Aufrechterhaltung eines eingleisigen Bahnbetriebs (**Tragwerkswechsel**) möglich ist. Letzteres ist z.B. bei einem Objekt, das aus zwei nebeneinander liegenden, eingleisigen Tragwerken besteht, möglich. Wird ein Brückenobjekt ersetzt, das aus einem 2-gleisigen Tragwerk besteht, ist eine Totalsperre erforderlich, da beide Gleise der Strecke betroffen sind.

Ad 3) Umleitungsmöglichkeiten:

Für die Ermittlung des CoF wird außerdem berücksichtigt, ob eine Umleitung des Bahnbetriebs kleinräumig möglich ist oder ob – im Falle einer Streckensperre – der Güterverkehr großräumig umgeleitet werden muss, während der Personenverkehr nur über Schienenersatzverkehr aufrecht erhalten werden kann.

Ad 4 A) Realisierbarkeit der baulichen Maßnahme:

Dieser Kategorisierungsparameter berücksichtigt die Örtlichkeit, in der sich ein Brückenobjekt befindet und beurteilt, wie gut das Brückenobjekt für eine potentielle Instandhaltungs- oder Erneuerungsmaßnahme erschlossen ist. Berücksichtigt wird, ob das Objekt nur schienengebunden erreicht werden kann, oder ob neben den Gleisen Begleitwege bzw. Straßen vorhanden sind, die als Zufahrtsmöglichkeit für eine Baustelle zur Verfügung stehen.

Ad 4 B) Abstand zu potentiellen Überleitstellen:

Muss ein Tragwerk ausgetauscht werden und wird daher die Strecke vorübergehend eingleisig betrieben, so hängt die Länge des baustellenbedingten eingleisigen Abschnittes davon ab, in welcher Entfernung zum Tragwerk Überleitstellen vorhanden sind. Tabelle 2 zeigt die verwendete Einteilung zur Klassifizierung des Abstands zur nächstmöglichen Überleitstelle. Da für jedes zu beurteilende Objekt jeweils der Abstand zu zwei Überleitstellen berücksichtigt werden muss, erfolgt die endgültige Klassifizierung auf Basis der weiter entfernten Überleitstelle. Objekte in Streckenabschnitten mit langen Überleitstellen (ab Klasse Überleitstelle 4) werden im Vergleich zu Objekten mit kurzen Überleitstel-

len (bis Klasse Überleitstelle 3) in eine um einen Grad schlechtere CoF-Klasse eingeordnet.

Tabelle 2: Klassifizierung nach Entfernung zur nächsten Überleitstelle

Klasseneinteilung Überleitstelle		
Klasse 1	<	3 km
Klasse 2	<	6 km
Klasse 3	<	9 km
Klasse 4	<	12 km
Klasse 5	>=	12 km

In Abbildung 19 ist die Einteilung der 5 CoF-Verfügbarkeits-Klassen skizziert, die für den Brückentyp „Brücke“ konzipiert wurde. Für den Brückentyp „Konstruktiver Durchlass“ wird der CoF bezüglich „Totalsperre“ und „Tragwerkswechsel“ jeweils um eine Kategorie besser bewertet als für Brückenobjekte.

CoF Verfügbarkeit				
1	2	3	4	5
Tragwerkswechsel & weniger hohe Streckenbelastung	Tragwerkswechsel & hohe Streckenbelastung	Tragwerkswechsel & sehr hohe Streckenbelastung	Tragwerkswechsel & schlechte bauliche Realisierbarkeit	
		Totalsperre & weniger hohe Streckenbelastung + großräumige Umleitung	Totalsperre & hohe Streckenbelastung + großräumige Umleitung	Totalsperre & sehr hohe Streckenbelastung + großräumige Umleitung
	Tragwerkswechsel & weniger hohe Streckenbelastung & schlechte bauliche Realisierbarkeit	Tragwerkswechsel & hohe Streckenbelastung & schlechte bauliche Realisierbarkeit	Tragwerkswechsel & sehr hohe Streckenbelastung & schlechte Realisierbarkeit	Totalsperre "andere" & schlechte bauliche Realisierbarkeit
		Totalsperre "andere" & weniger hohe Streckenbelastung	Totalsperre "andere" & hohe Streckenbelastung	Totalsperre "andere" & sehr hohe Streckenbelastung
	Tragwerkswechsel & weniger hohe Streckenbelastung & lange Überleitstelle	Tragwerkswechsel & hohe Streckenbelastung & lange Überleitstelle		

Abbildung 19: Einteilung Klassen CoF Verfügbarkeit für Brückentyp „Brücke“

2.5 Umsetzung des Risikomodells anhand der ÖBB Strecke Bruck/Mur-Graz

2.5.1 Vorgehensweise

Für das Demoprojekt-Schieneinfrastruktur wurde folgende Vorgehensweise konzipiert:

- 1) Risiko-Analyse Wirtschaftlichkeit pro Anlage & Strecke zum Zeitpunkt 2016
- 2) Risiko-Analyse Verfügbarkeit pro Anlage & Strecke zum Zeitpunkt 2016
- 3) Erstellen von drei sog. „Bad-Actors“ Listen als Ausgangslage der weiteren Maßnahmenableitung:
 - Bad-Actors-Liste infolge Zustandbasiertem LCM
 - Bad-Actors-Liste infolge Risikoanalyse Wirtschaftlichkeit
 - Bad-Actors-Liste infolge Risikoanalyse Verfügbarkeit
- 4) Maßnahmenableitung 2016-2025 unter begleitender Risikoprognose bis 2025 infolge voranschreitendem PoD bzw. voranschreitendem CoF_Wirtschaftlichkeit unter Berücksichtigung des Strategieansatzes ALARP („as low as reasonably practicable“).
- 5) Simulation eines gezielten PoF-Workarounds infolge modifizierter CFs (gesonderte, nochmalige Evaluierung der „Bad actors“ vor einer endgültigen Maßnahmenableitung)
- 6) Vergleich der Risiko-basierten Instandsetzungs-/Reinvestkosten (Wirtschaftlichkeit bzw. Verfügbarkeit) mit jenen der Zustands-basierten LCM Analyse FCP und Bewertung der Ergebnisse.

Die wesentlichsten, seitens der ÖBB formulierten Anforderungen an Risikoanalysen dieser Art lassen sich wie folgt zusammenfassen: „Die wesentlichste Motivation für die Risikobetrachtung ist eine Untersuchung potentieller Maßnahmenverschiebungen und daraus entstehender Konsequenzen. Hinsichtlich der Darstellung sollte ausgehend vom Streckenband die Anlage herausisoliert, einer Risikobewertung unterzogen und daraufhin wieder ins Streckenband hineingespielt werden.“

2.5.2 Streckenbeschreibung der Pilotstrecke Bruck/Mur – Graz

Die 54 km lange, zweigleisige Strecke Bruck/Mur - Graz der ÖBB stellt ein Nadelöhr der künftig ausgebauten Verbindung Wien-Klagenfurt dar (Zielnetz 2025+).

Das entwickelte Risikomodell wurde nach Abstimmung mit den ÖBB an den 89 Brückenobjekten (Eisenbahnbrücken & Konstruktive Durchlässe) auf der Strecke angewandt. Abbildung 20 gibt eine Übersicht über die Strecke und über die wichtigsten Charakteristika der analysierten Brückenobjekte.

Die weiteren Eckdaten der Strecke sind in Tabelle 3 zusammengefasst.



Tragwerk System	Anzahl	Mittleres Baujahr	Mittleres Alter
Durchlaufträger	3	1962	51
Einfeldträger	42	1962	51
Gewölbe	23	1921	92
Rahmen	20	1982	32
Rohre (>2m)	1	2005	8
Summe	89		57

Abbildung 20: Streckenübersicht Bruck/Mur – Graz Hbf. und Übersicht über die Brückenobjekte auf der Strecke

Tabelle 3: Streckenbeschreibung [7]

Anzahl Streckengleise	2
Streckenlänge	54 km von km 157,858 bis km 211,355
Netzsegmentierung	Kernnetz; A-Netz
Betriebszeit	Durchgehender Betrieb
Minimaler Bogenradius	297m; Weichenbereich R=190m
Gleisabstand	4,00 – 4,75m
Tunnel	Kugelstein; km 188,523 – 188,923; L=400m
System	Besetzte Einzelstellwerke / Fernbedienbetrieb
Betriebsform	Gleiswechselbetrieb

Verkehr	Mischverkehr
Max. Zuggewicht	3000 t (für beide Richtungen)
Max. Betriebsgeschwindigkeit	140km/h
Oberleitung	Ja
Stromsystem	15kV, 16 2/3Hz
Oberleitungszickzack	Max. +/- 40cm
DB776 Code	8052 Bruck a. d. Mur (E) – Graz Hbf. (E)

2.5.3 Kurzbeschreibung Zustandsbasiertes LCM

Die nachfolgenden Ausführungen gehen auf ein Pilotprojekt zurück, welches FCP 2013-2014 für die ÖBB durchgeführt hat [7]. Die Basis der angewandten Methode bildet ein zustandsbasiertes, gewerke-übergreifendes Life-Cycle Modell auf Streckensicht, bei dem die Alterungsprozesse der jeweiligen, einzelnen Anlagenteile (Bauteile) unter Berücksichtigung der Erhaltungsstrategie und der üblicherweise angewandten Instandhaltungsmaßnahmen zu einem Alterungsmodell einer Anlage überlagert werden. In diesem Modell werden alle relevanten Anlagen jedes Gewerks der Pilotstrecke berücksichtigt.

Ausgangslage der Analysen waren die zum Zeitpunkt der Bearbeitung vorhandenen Zustandsdaten bei den ÖBB. Diese bilden die Datengrundlage für die Alterungsmodelle im Rahmen der rechnerischen Life Cycle Modellierung.

Nach Entwicklung der Alterungsmodelle und der Berücksichtigung der Instandhaltungsmaßnahmen im Lauf der Lebensdauer wurde in einem ersten Schritt ein optimaler Erhaltungsplan für jedes Gewerk ermittelt. Ziel der Maßnahmenplanung war es, den Zustand der Anlagen auf die Zielvorgabe der Strecke (Zugzahlen Zielnetz 2025) anzuheben.

In einem weiteren Schritt wurden die Maßnahmen der unterschiedlichen Gewerke unter Berücksichtigung der lokalen Positionen („Streckensicht“) und der geplanten Interventionszeit mit dem Ziel einer möglichst hohen Streckenverfügbarkeit untereinander abgestimmt. Dazu wurde der Erhaltungsplan des Gewerks Oberbau als vorhanden angenommen und die restlichen Gewerke zeitlich und örtlich auf diesen Erhaltungsplan optimiert.

Für den vorliegenden Kontext werden die Brückenanalysen aus dem seinerzeitigen Gesamtprojekt herausgelöst und für eine vergleichende Ergebnisbewertung aufbereitet.

- Die damals entwickelten Degradationsmodelle für Brückenobjekte bilden die Grundlage für die Probability of Deterioration (PoD)-Funktionen und damit die Ausgangslage für das Risikobasierte LCM.
- Die Ergebnisse des Zustand-basierten LCM für Brückenobjekte (Abbildung 21) bildet die Vergleichsgrundlage für die Ergebnisse des neu entwickelten Risikobasierten LCM.

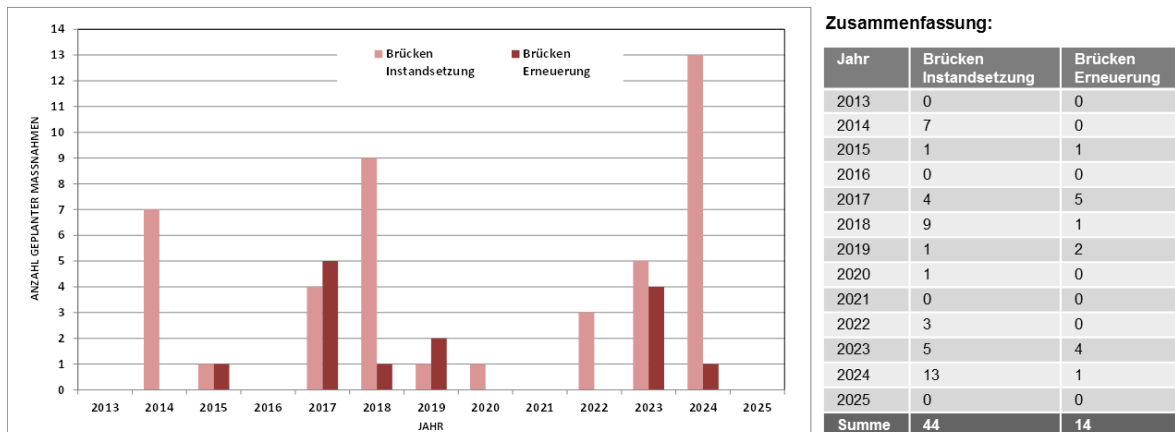


Abbildung 21: Zusammenfassung der tiefgreifenden Maßnahmen aus dem Strecken-LCM-Projekt FCP/ÖBB (Bruck/Mur – Graz)

2.5.4 PoD Verlauf und PoF der Brückenobjekte auf der Pilotstrecke

Die Ermittlung der Probability of Deterioration und die darauf aufbauende Klassifizierung in PoF-Klassen wurde wie in den Kapiteln 2.4.4 und 2.4.5 beschrieben, durchgeführt.

Bezüglich des CF-Wertes (Confidence Factors) wurden folgende Annahmen getroffen:

Efficiency (E)	1,0	Standard Inspektionen wurden durchgeführt
Scope (S)	1,0	Prüfumfang gemäß nationaler Standards
History (H)	1,0 bzw. 1,1	je nach Aktualität der vorliegenden Daten (1,0, wenn die Daten eines Prüfzyklus vorliegen bzw. 1,1, wenn die Daten älter sind als der festgelegte Prüfzyklus)

In Abbildung 22 ist neben dem Soll-Verlauf der jeweilige PoD-Wert der analysierten Brückenobjekte in Abhängigkeit von deren Alter und Zustand zum Zeitpunkt der letzten Inspektion eingetragen. Da auch die Grenzen der 5 PoF-Klassen eingetragen sind, kann auch die PoF-Klasse jedes Brückenobjekts abgelesen werden.

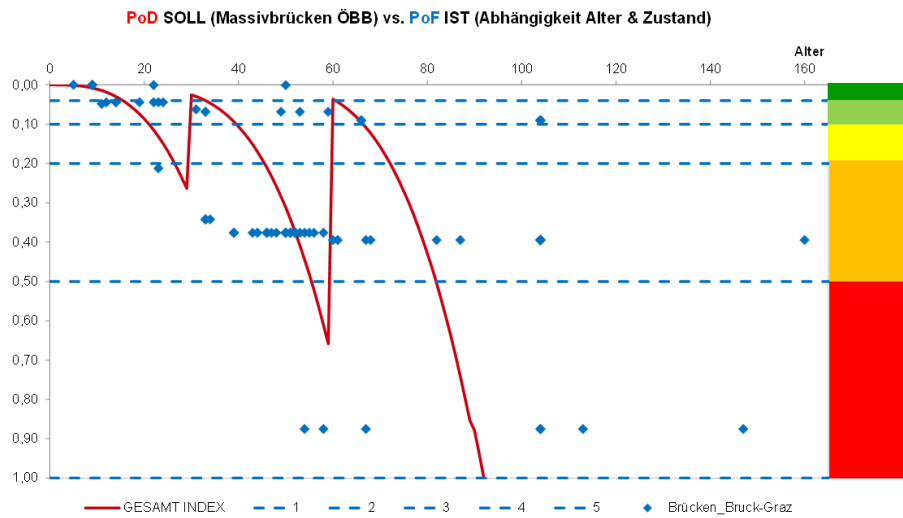


Abbildung 22: PoD-Verlauf über die zu erwartende Nutzungsdauer von Brücken mit Grenzen der 5 PoF-Klassen sowie die PoD's der einzelnen Brückenobjekte in Abhängigkeit von Alter und Zustand auf der Pilotstrecke zum Zeitpunkt der letzte Inspektion

2.5.5 Risikoanalyse Wirtschaftlichkeit

2.5.5.1 Risikoklassifizierung zum Zeitpunkt der letzten Inspektion

Für die zu analysierenden Brückenobjekte auf der Pilotstrecke wurde analog zur beschriebenen Vorgehensweise in Kapitel 2.4.6 der CoF-Wert bestimmt. Der ermittelte Restwert (oben) für jedes Brückenobjekt, der Wirtschaftlichkeitsquotient (Mitte) sowie der daraus resultierende CoF-Wert (unten) ist in Abhängigkeit des Bauwerksalters in Abbildung 23 im Vergleich zu den Sollwerten dargestellt.

In Abbildung 24 ist das ermittelte Risiko Wirtschaftlichkeit (unten) für jedes Brückenobjekt zum Zeitpunkt der letzten Inspektion entlang der Pilotstrecke abgebildet (Streckenband) und den zugehörigen Zustandsklassen (oben) gegenübergestellt.

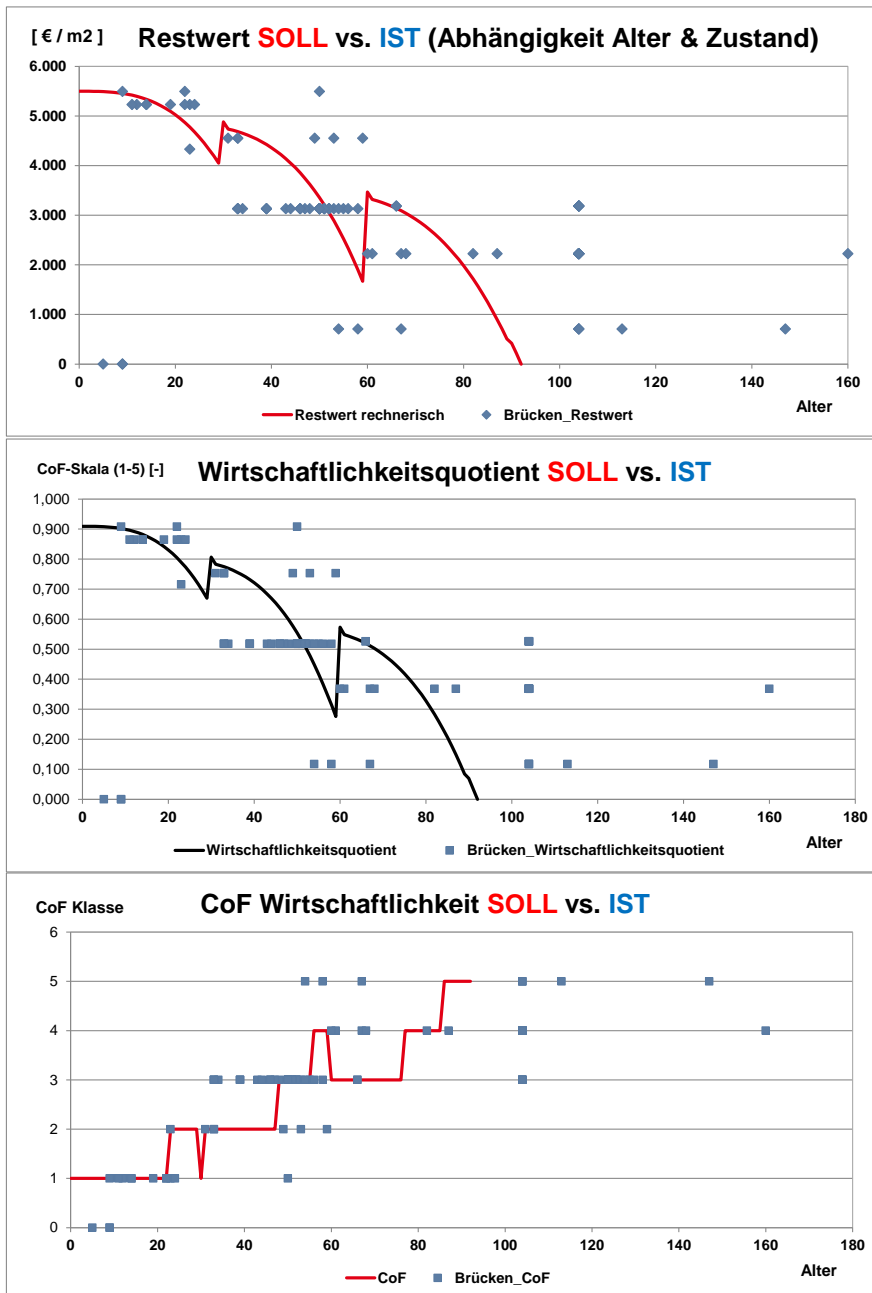


Abbildung 23: Ermittelter Restwert (oben), Wirtschaftlichkeitsquotient (Mitte) und CoF Wirtschaftlichkeit (unten) in Abhängigkeit von Alter und Zustand für die Brückenobjekte auf der Pilotstrecke zum Zeitpunkt der letzten Inspektion und Vergleich mit den Sollwerten

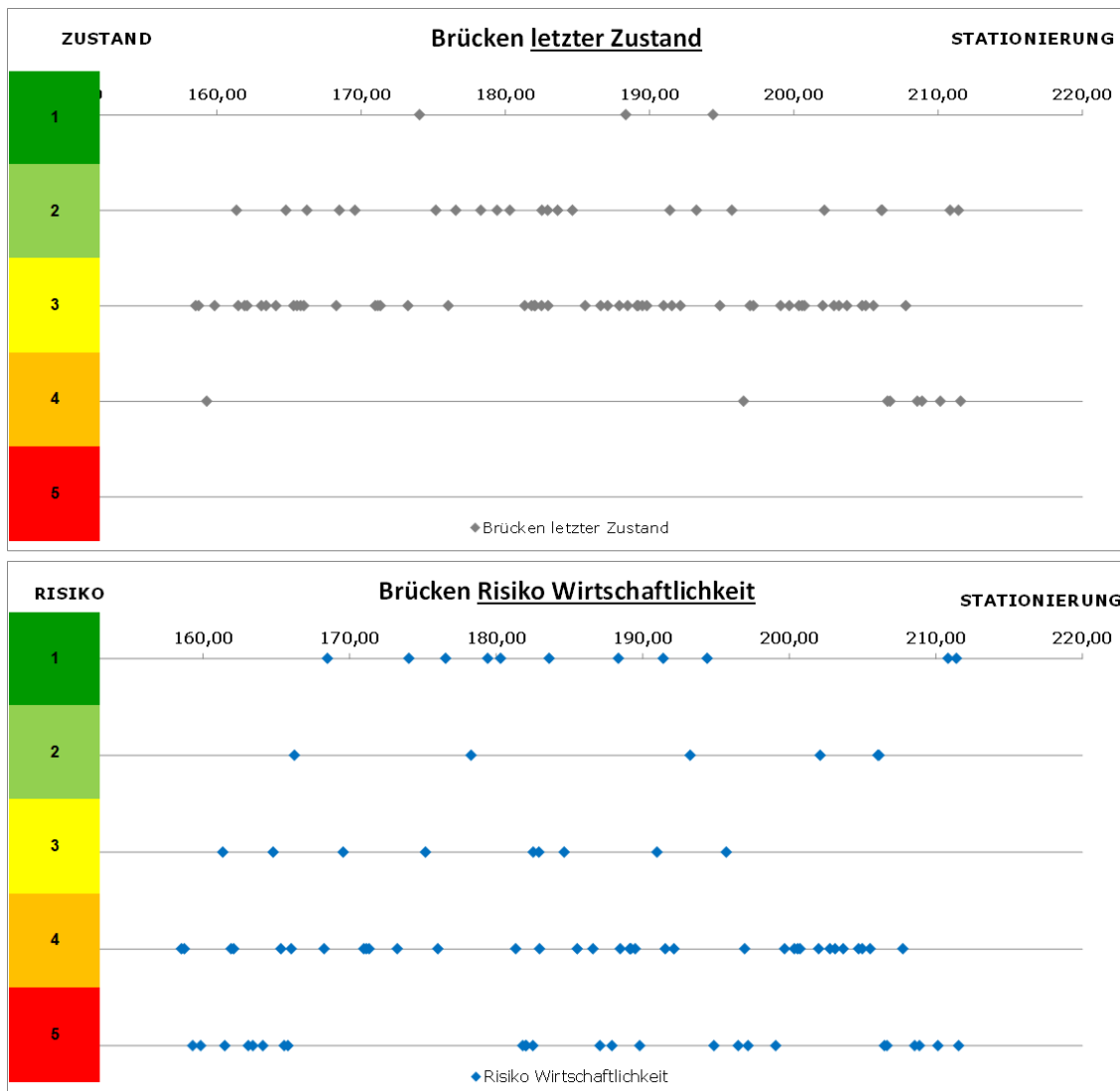


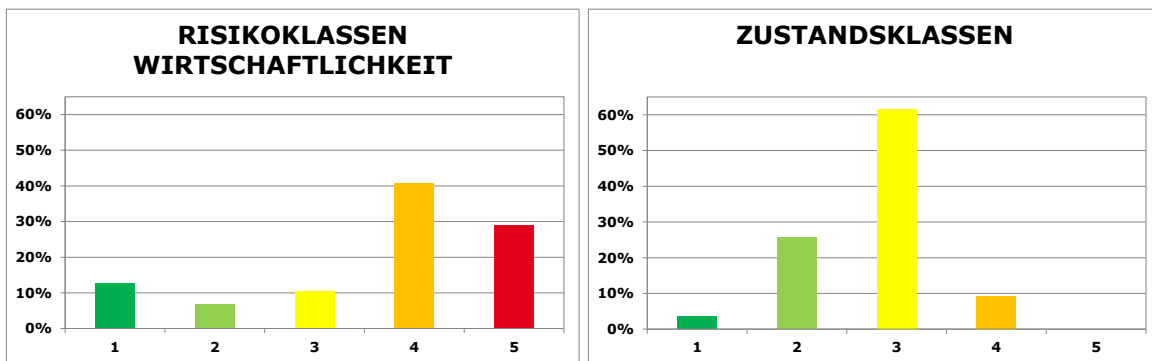
Abbildung 24: Streckenband zur Risikoanalyse-Wirtschaftlichkeit für die Brückenobjekte entlang der Pilotstrecke zum Zeitpunkt der letzten Inspektion (2012)

2.5.5.2 Definition des Analysezeitraumes

Für die drei zu vergleichenden Varianten der Maßnahmenableitung wurde ein einheitlicher Analysezeitraum von 2016-2025 festgelegt. Da die zur Verfügung stehenden Zustandsdaten der Strecke Bruck/Mur – Graz aus dem Jahr 2012 stammen, müssen für die Risikoproggnose in einem ersten, vorbereitenden Schritt die ermittelten PoF- und CoF-Werte für die bei der letzten Inspektion (2012) festgelegte Zustandsklasse in das Startjahr der Analyse (2016) transformiert werden.

2.5.5.3 Bad-Actors Liste Risiko Wirtschaftlichkeit zum Untersuchungsstart 2016

Als Bad-Actors werden all jene Brückenobjekte betrachtet, deren Risiko Wirtschaftlichkeit aufgrund ihrer PoF-Klasse und ihrer CoF-Klasse in die Risikoklasse 5 (rot) fällt. Dies betrifft 25 der 86 Brückenobjekte bzw. 29%. 8 dieser als kritisch eingestuften Brückenobjekte sind laut letzter Inspektion der Zustandsklasse 4 zuzuordnen, die restlichen 17 der Zustandsklasse 3.



RISIKOGRUPPE WIRTSCHAFTLICHKEIT			ZUSTANDSKLASSE			
KLASSE	Anzahl	Anzahl in %	KLASSE	Anzahl	Anzahl in %	davon R=5
1	11	13%	1	3	3%	0
2	6	7%	2	22	26%	0
3	9	10%	3	53	62%	17
4	35	41%	4	8	9%	8
5	25	29%	5	0	0%	0
SUMME	86		SUMME	86		25

Abbildung 25: Häufigkeitsverteilung der Risikoklassen Wirtschaftlichkeit und der Zustandsklassen und Abgleich der kritischen Objekte hinsichtlich Risiko Wirtschaftlichkeit mit den Zustandsklassen

2.5.5.4 Risikoprognose für den Zeitraum 2016-2025

Ausgehend von den PoF- und CoF-Werten für das Jahr 2016 werden für jedes Jahr innerhalb des Analysezeitraumes Prognosen für beide Werte berechnet und das Risiko Wirtschaftlichkeit ermittelt. Fällt das Risiko in die Klasse 5, wird entweder eine Erneuerung (Reinvest) der Anlage oder eine tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme (IH2) eingetaktet, um das Risiko in einen weniger kritischen Bereich zu heben. Für die Entscheidung welche Maßnahme gewählt wird, wurde ein Mechanismus implementiert, der Brückenobjekte, deren Restwert bereits 0 ist, zur Erneuerung vorsieht. Ist dies nicht der Fall, so ist

eine tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme ausreichend, um das Risiko Wirtschaftlichkeit innerhalb des Betrachtungshorizontes 2025 auf ein vernünftiges Maß zu senken.

In Abbildung 27 ist im Sinne eines Streckenbandes (entlang der Vertikalachse) für jedes analysierte Brückenobjekt das prognostizierte Risiko Wirtschaftlichkeit im besagten Analysezeitraum 2016-25 jahresweise abgebildet.

Abbildung 26 stellt die zugehörige Häufigkeitsverteilung der einzelnen Risikoklassen pro Jahr dar und zeigt auf, dass jede Risikoklasse 5 (rot) vom Algorithmus jeweils mit einer Behebung im Folgejahr einhergeht. Über den Analysezeitraum betrachtet wird der Großteil der Objekte in Risikoklasse 3 (gelb) gehalten, während die Risikoklasse 1 (grün) nur als Folge des Reinvests auftritt.

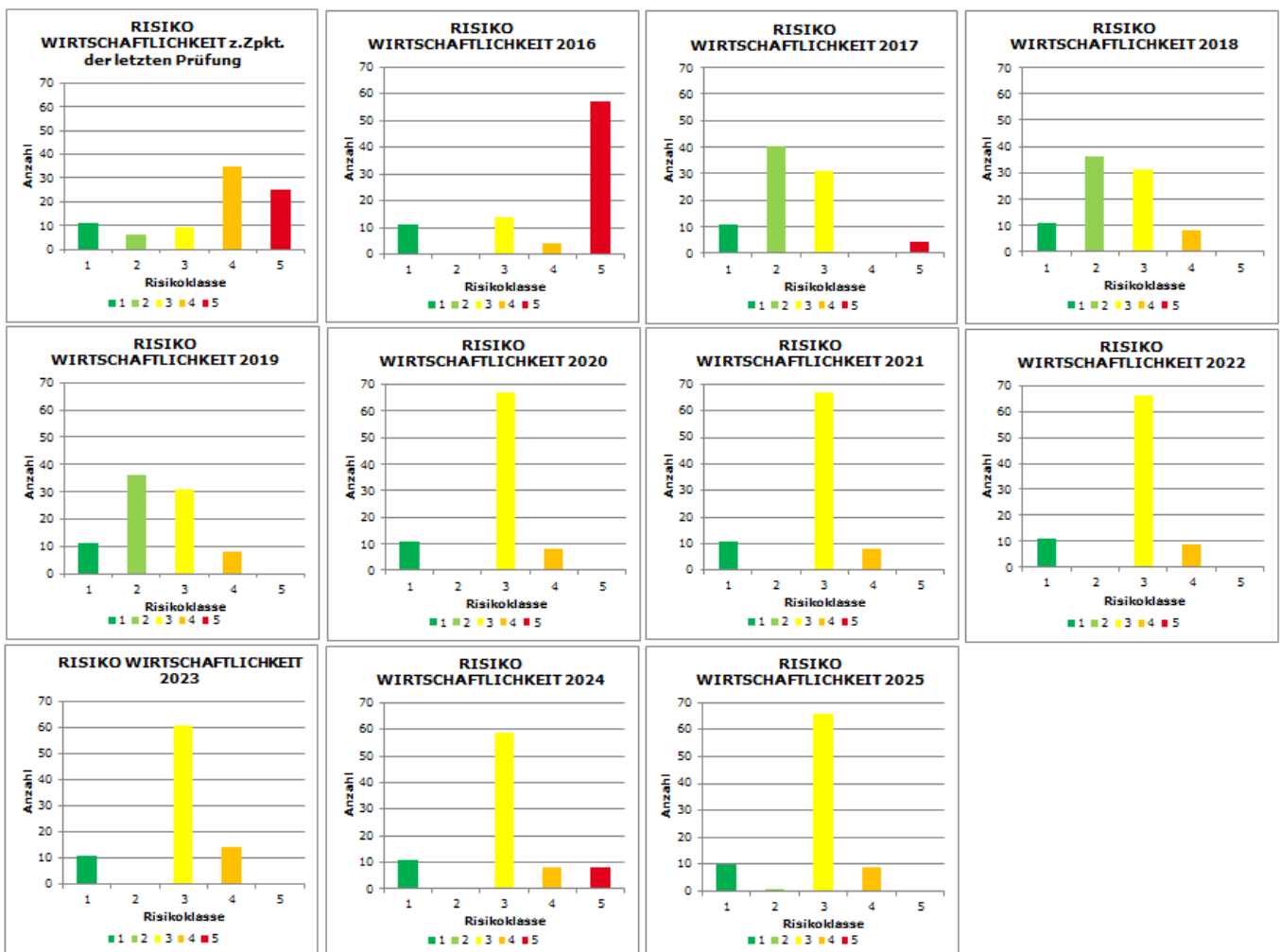


Abbildung 26: Häufigkeitsverteilung Risiko Wirtschaftlichkeit über die Zeit

Brücken- objekt	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
000403	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
000404	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
000405	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1
000406	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000407	3	3	4	4	4	4	4	4	5	3
000408	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000409	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000410	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000411	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000412	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000413	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000414	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000415	3	3	4	4	4	4	4	4	5	3
000416	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000417	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000418	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000419	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000420	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000421	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000422	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000423	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000424	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000425	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000426	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000427	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000428	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000429	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000430	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000431	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000432	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000433	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000434	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000435	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000436	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000437	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000438	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000439	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000440	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000441	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000442	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000443	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000444	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000445	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000446	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000447	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000448	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000449	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000450	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000451	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000452	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000453	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000454	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000455	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000456	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000457	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000458	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000459	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000460	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000461	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000462	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000463	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000464	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000465	3	2	2	2	3	3	3	3	3	3
000466	3	3	4	4	4	4	4	4	5	3
000467	4	5	2	2	3	3	3	3	3	3
000468	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000469	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4
000470	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000471	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000472	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000473	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000474	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000475	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000476	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000477	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000478	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000479	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000480	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000481	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000482	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000483	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000484	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000485	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000486	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000487	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000488	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000489	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000490	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000491	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000492	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000493	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000494	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000495	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000496	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000497	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000498	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000499	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000500	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000501	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000502	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000503	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000504	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000505	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000506	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000507	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000508	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000509	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000510	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000511	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000512	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000513	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000514	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000515	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000516	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000517	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000518	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000519	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000520	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
000521	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3

Abbildung 27: Risikoprognose Wirtschaftlichkeit für den Zeitraum 2016-2025 (Spalten = Jahre, Zeilen = Brückenobjekte)

2.5.5.5 Simulation eines PoF Workarounds infolge modifizierter Konfidenzbeiwerte CF

Ist ein Objekt mit der Risikoklasse 5 klassifiziert, so ist die erste mögliche und effizienteste Maßnahme, um voreilige bauliche Instandsetzungsmaßnahme einzuleiten, den dokumentierten Bauwerkszustand nochmals zu hinterfragen bzw. den aktuellen Wissensstand über das Objekt anhand zusätzlicher Inspektionen und Sonderprüfungen zu verdichten. Durch das Ausheben und Auswerten der Prüfhistorie aus den Archiven für die kritischen Objekte können ebenfalls wertvolle Informationen über die Objekte gewonnen werden. Eine entsprechende Simulation eines solchen Vorgehens führt zu folgenden Änderungen der einzelnen Komponenten des CF-Wertes:

Efficiency (E) = 0,9	Es liegen Ergebnisse von Inspektionen über den technischen Standard hinaus vor.
Scope (S) = 0,9	Es wurden ergänzende Sonderprüfungen durchgeführt.
History (H) = 0,9	Es stehen Daten mehrerer Prüfzyklen zur Verfügung (d.h. historische Zustandsdaten wurden erhoben).

Mit diesen Annahmen kann der CF-Wert von 1,0 auf 0,729 ($0,9 \times 0,9 \times 0,9$) gesenkt werden.

Auf die Risikoprognose und die darauf aufbauende Maßnahmenableitung wirkt sich die Änderung des CF-Wertes folgendermaßen aus:

- 8 Objekte mit $R_{\text{Wirtschaftlichkeit}} = 5$ für die im Jahr 2016 eine Reinvest-Maßnahme vorgesehen war, bleiben weiterhin $R_{\text{Wirtschaftlichkeit}} = 5$, d.h. die Reinvest-Maßnahme ist weiterhin 2016 vorgesehen.
- von 49 Objekten mit $R_{\text{Wirtschaftlichkeit}} = 5$ für die im Jahr 2016 IH-Maßnahmen vorgesehen waren,
 - bleiben 15 IHs im Jahr 2016
 - für 34 Objekte ergibt sich eine Reduktion des Risikos auf $R = 4$; die IH-Maßnahmen werden dadurch um bis zu 3 Jahre verschoben

Die nachfolgende **Abbildung 28** zeigt einen Vergleich der beiden sog. Risikostreckenbändern (Konsequenzkriterium Wirtschaftlichkeit) d.h. den Verlauf der Risikoklassen für alle analysierten Brückenanlagen über die Zeit - einmal ohne (vgl. Abbildung 27) und einmal unter Berücksichtigung modifizierter Konfidenzfaktoren.

The image contains two large tables, one on the left and one on the right, representing simulation results for a targeted PoF Workaround. Each table has 10 columns representing years from 2016 to 2025 and multiple rows representing different bridge objects (Brückenobjekte). The cells in the tables are color-coded based on risk levels: 1 (green), 2 (yellow), 3 (red), and 4 (orange). The left table shows the original risk prognosis, while the right table shows the prognosis after applying a modified CF value. The data shows a general trend of risk reduction over time for many objects, with some objects showing a return to higher risk levels towards the end of the period.

Abbildung 28: Risiko Wirtschaftlichkeit – Simulation eines gezielten PoF Workarounds infolge modifizierter Konfidenzbeiwerte CF (ursprüngliche Risikoproggnose links und Prognose mit modifiziertem CF-Wert rechts) (Spalten = Jahre, Zeilen = Brückenobjekte)

Abbildung 29 zeigt die Veränderung der jahresweisen Häufigkeitsverteilung des Risikos Wirtschaftlichkeit über den Analysezeitraum. Im Vergleich zu Abbildung 26 bleiben Objekte, für die eine Erneuerung vorgesehen ist, nach der Maßnahme aufgrund des höheren CF-Wertes länger in Klasse 1 und 2. Gegen Ende des Analysezeitraums der risikobasierenden Erhaltung befindet sich aber wieder der Großteil der analysierten Objekte in der Risikoklasse 3, d.h. das ALARP-Prinzip wird eingehalten.

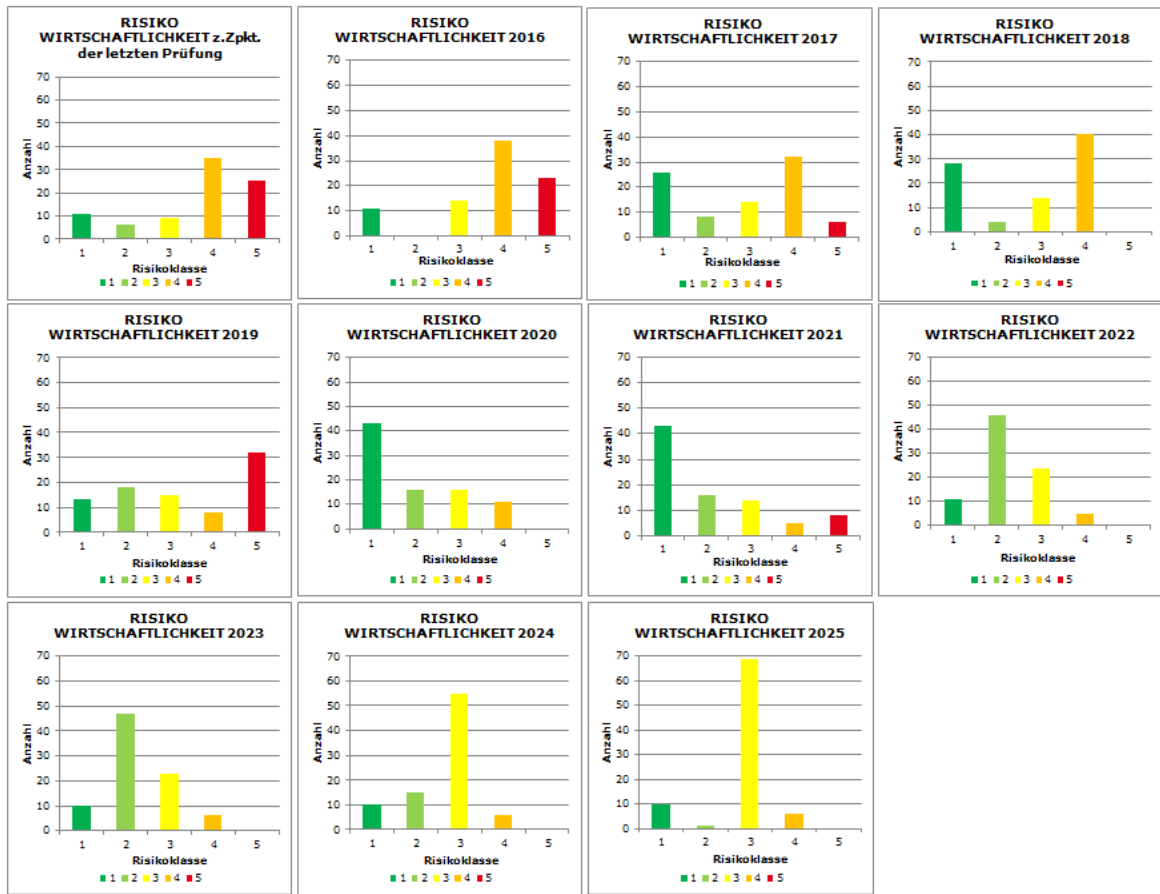


Abbildung 29: Häufigkeitsverteilung Risiko Wirtschaftlichkeit über die Zeit infolge modifizierter Konfidenzbeiwerte

2.5.5.6 Zusammenfassung Maßnahmenableitung infolge Risikobewertung Wirtschaftlichkeit

In Abbildung 30 sind die Ergebnisse beider Risikoanalysen innerhalb des Analysezeitraums in Form der resultierenden Maßnahmen aufgelistet. Unabhängig davon, ob die CF-Werte modifiziert wurden oder nicht, sind bei 69 Objekten aufgrund des Risikos Wirtschaftlichkeit Maßnahmen erforderlich. 8 Objekte müssen unmittelbar (2016) erneuert werden, bei 61 Objekten ist eine Instandhaltung vorgesehen. Die modifizierten CF-Werte führen dazu, dass viele IH-Maßnahmen zeitlich nach hinten verschoben werden.

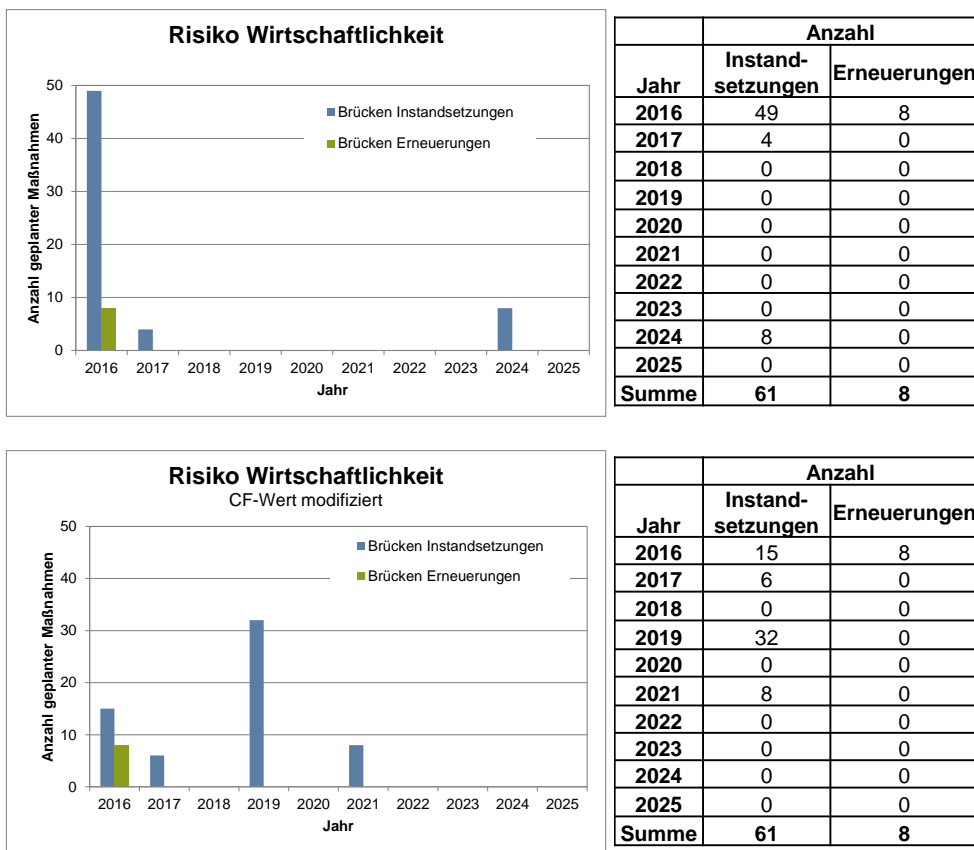


Abbildung 30: Maßnahmenvorschlag infolge Risikobewertung Wirtschaftlichkeit mit ursprünglichen CF-Werten (oben) bzw. mit modifizierten CF-Werten (unten)

2.5.6 Risikoanalyse Verfügbarkeit

2.5.6.1 Risikoklassifizierung zum Zeitpunkt der letzten Inspektion

Die Klassifizierung der CoF-Klassen Verfügbarkeit wurde wie in Kapitel 2.4.7 beschrieben durchgeführt.

Die fünf Klassifikationsparameter (siehe Kapitel 2.4.7) wurden folgendermaßen zugeordnet:

- 1) Die **Streckenbelastung** ist über die gesamte Pilotstrecke konstant und entspricht daher für alle Brückenobjekte gleichermaßen einer hohen Belastung (15.000-50.000 Bt/Tag, Gleis).
- 2) Die **Anzahl der Gleise am TW (Tragwerkswechsel vs. Totalsperre)** wurden für jedes Brückenobjekt individuell ermittelt.
- 3) Die **Umleitungsmöglichkeiten** sind ebenfalls für gesamte Strecke gleich. Im Falle einer Totalsperre eines Brückenobjekts ist auf der Strecke Bruck/Mur – Graz für den Güterverkehr eine großräumige Umleitung erforderlich, für den Personenverkehr muss ein Schienenersatzverkehr eingerichtet werden.
- 4) Die **Realisierbarkeit der baulichen Maßnahme** wurde individuell für jedes Brückenobjekt ermittelt. Der Großteil der Objekte ist gut zugänglich und wurde mit „guter Realisierbarkeit“ bewertet.
- 5) Der **Abstand zu potentiellen Überleitstellen** wurde ebenfalls individuell für jedes Brückenobjekt ermittelt. Aufgrund der zum Teil großen Abstände zwischen den Bahnhöfen, treten auf der Pilotstrecke alle Klassen auf.

In Abbildung 31 sind jene Kategorien der CoF-Matrix hervorgehoben (blau), welche im Fall der Pilotstrecke vorkommen.

In Abbildung 32 ist das ermittelte Risiko Verfügbarkeit (unten) für jedes Brückenobjekt zum Zeitpunkt der letzten Inspektion entlang der Pilotstrecke abgebildet (Streckenband) und den zugehörigen Zustandsklassen (oben) gegenübergestellt.

CoF Verfügbarkeit				
1	2	3	4	5
Tragwerkswechsel & weniger hohe Streckenbelastung	Tragwerkswechsel & hohe Streckenbelastung	Tragwerkswechsel & sehr hohe Streckenbelastung	Tragwerkswechsel & schlechte bauliche Realisierbarkeit	
		Totalsperre & weniger hohe Streckenbelastung + großräumige Umleitung	Totalsperre & hohe Streckenbelastung + großräumige Umleitung	Totalsperre & sehr hohe Streckenbelastung + großräumige Umleitung
	Tragwerkswechsel & weniger hohe Streckenbelastung & schlechte bauliche Realisierbarkeit	Tragwerkswechsel & hohe Streckenbelastung & schlechte bauliche Realisierbarkeit	Tragwerkswechsel & sehr hohe Streckenbelastung & schlechte Realisierbarkeit	Totalsperre "andere" & schlechte bauliche Realisierbarkeit
		Totalsperre "andere" & weniger hohe Streckenbelastung	Totalsperre "andere" & hohe Streckenbelastung	Totalsperre "andere" & sehr hohe Streckenbelastung
	Tragwerkswechsel & weniger hohe Streckenbelastung & lange Überleitstelle	Tragwerkswechsel & hohe Streckenbelastung & lange Überleitstelle		

Abbildung 31: Applikation CoF Modell BEK (Betriebserschwerniskosten) (Verfügbarkeit)

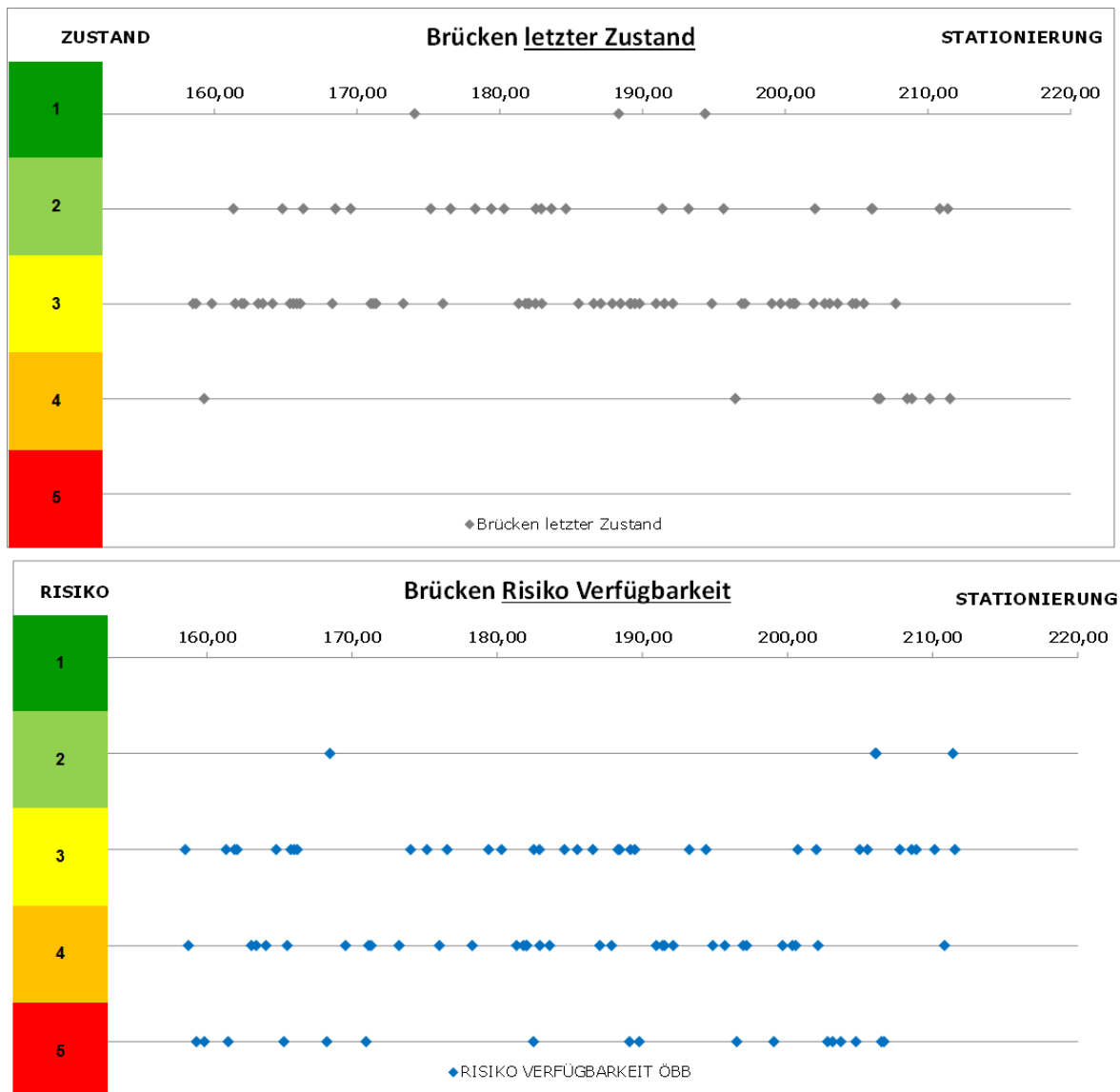


Abbildung 32: Streckenband Zustandsklassen (oben) und CoF Verfügbarkeit (unten) für die Brückenobjekte entlang der Pilotstrecke zum Zeitpunkt der letzten Inspektion

2.5.6.2 Bad-Actors Liste Risiko Verfügbarkeit zum Untersuchungsstart 2016

Als Bad-Actors werden all jene Brückenobjekte betrachtet, deren Risiko Verfügbarkeit aufgrund ihrer PoF-Klasse und ihrer CoF-Klasse in die Risikoklasse 5 (rot) fällt. Dies betrifft 17 der 86 Brückenobjekte bzw. 20% aller im untersuchten Streckenabschnitt vorhandenen Brückenobjekte. 4 Brückenobjekte mit Risiko 5 wurden im Zuge der letzten Inspek-

tion mit der Zustandsklasse 4 bewertet, die restlichen 13 sind der Zustandsklasse 3 zugeordnet (Abbildung 33).

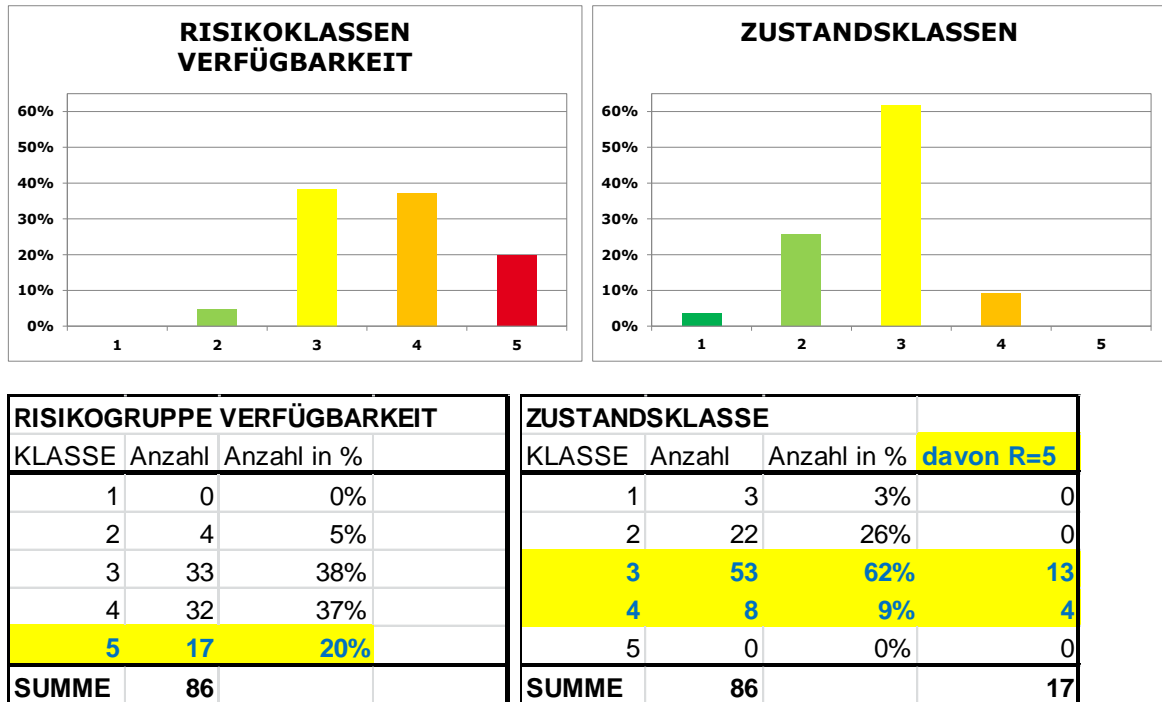


Abbildung 33: Häufigkeitsverteilung der Risikoklassen Verfügbarkeit und der Zustandsklassen und Abgleich der kritischen Objekte hinsichtlich Risiko Verfügbarkeit mit den Zustandsklassen

2.5.6.3 Risikoprognose für den Zeitraum 2016-2025

Die Prognose für die Entwicklung des Risikos Verfügbarkeit im Analysezeitraum 2016-2025 wurde analog zur Prognose des Risikos Wirtschaftlichkeit durchgeführt. Die notwendigen Schritte sind im Folgenden kurz zusammengefasst:

- PoF Transformation Stand 2012-2016
- CoF Verfügbarkeit = konstant
- Ab 2016 „Do-Nothing“ Simulation PoF bis Risiko_Verfügbarkeit 5
=> Maßnahmentrigger
- Implementierter Mechanismus Maßnahmenableitung (NUR für Risiko 5 - Objekte):
 - IH2 (tiefgreifende IH), wenn dadurch Risiko_Verfügbarkeit bis 2025 < 5
 - sonst Reinvest

Im Unterschied zum CoF Wirtschaftlichkeit ist der CoF Verfügbarkeit für ein Tragwerk über seine gesamte Nutzungsdauer konstant. Reicht eine tiefgreifende IH-Maßnahme aus, um das Risiko des Tragwerks bis zum Ende des Analysezeitraums kleiner als 5 zu halten, so wird diese gesetzt. Würde das Objekt bis 2025 dennoch wieder in die Risikoklasse 5 fallen, so wird eine Erneuerung (Reinvest) eingetaktet.

In Abbildung 34 ist für jedes analysierte Brückenobjekt das prognostizierte Risiko Verfügbarkeit für jedes Jahr abgebildet. Abbildung 35 stellt dazu die Häufigkeitsverteilung der einzelnen Risikoklassen pro Jahr dar und zeigt auf, dass die Risikoklasse 5 (rot) vom entwickelten Algorithmus jeweils bereits im Folgejahr eliminiert wird. Über den Analysezeitraum betrachtet wird der Großteil der Objekte in Risikoklasse 3 (gelb) gehalten, während die Risikoklasse 1 (grün) nur als Folge einer Reinvest-Maßnahme auftritt.

Brücken-objekt-Nr.	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
000003	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000004	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000005	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000006	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000007	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
000008	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000009	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000010	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000011	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000012	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000013	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000014	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000015	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4
000016	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000017	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000018	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000019	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000020	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000021	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000022	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000023	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000024	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000025	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000026	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000027	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000028	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000029	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000030	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000031	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000032	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000033	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000034	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000035	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000036	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000037	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000038	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000039	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000040	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000041	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000042	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000043	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000044	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000045	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000046	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000047	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000048	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000049	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000050	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000051	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000052	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000053	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000054	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000055	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000056	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000057	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000058	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000059	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000060	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000061	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000062	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000063	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000064	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000065	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000066	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000067	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000068	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000069	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000070	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000071	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000072	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000073	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000074	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000075	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000076	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000077	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000078	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000079	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000080	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000081	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000082	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000083	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000084	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000085	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000086	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000087	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000088	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000089	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000090	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000091	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000092	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000093	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000094	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000095	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000096	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000097	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000098	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000099	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000100	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000101	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000102	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000103	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000104	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000105	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000106	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000107	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000108	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000109	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000110	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000111	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000112	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000113	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000114	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000115	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000116	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000117	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000118	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000119	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000120	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
000121	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

Abbildung 34: Risiko Verfügbarkeit - Brückenobjekte Pilotstrecke Bruck/Mur – Graz; Verlauf Risiko Verfügbarkeit 2016 – 2025 (Spalten = Jahre, Zeilen = Brückenobjekte)

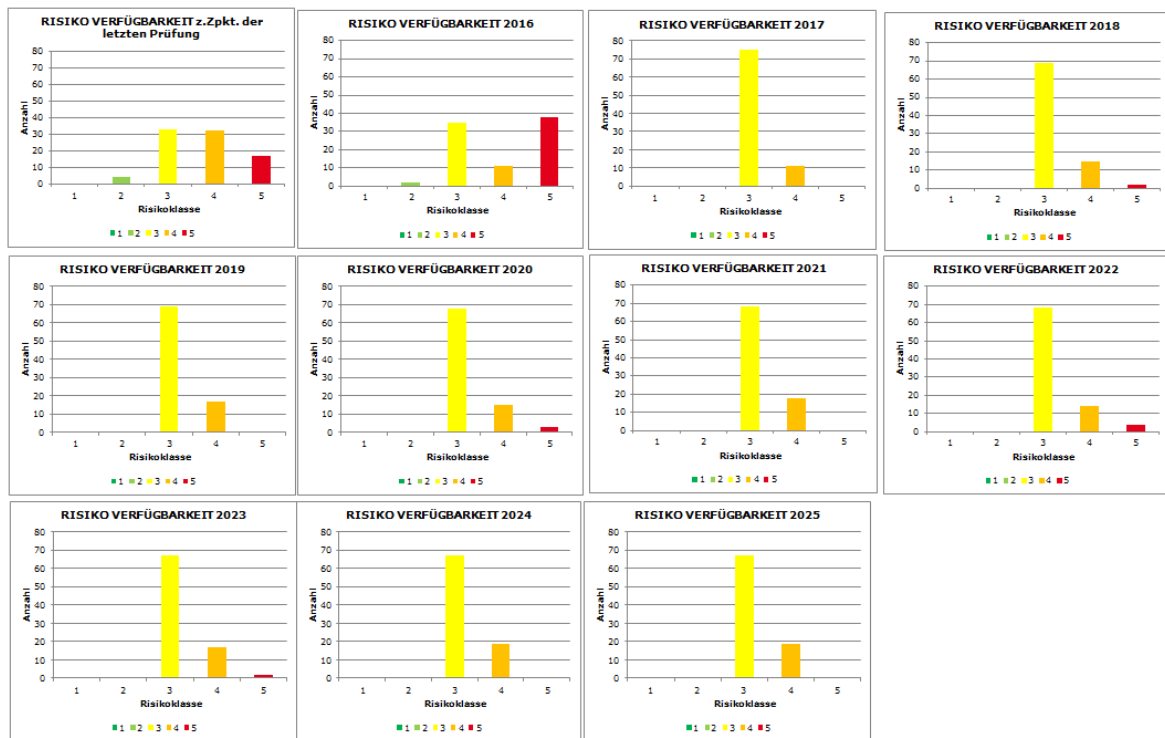


Abbildung 35: Häufigkeitsverteilung Risiko Verfügbarkeit über die Zeit

2.5.6.4 Simulation eines PoF Workarounds infolge modifizierter Konfidenzbeiwerte CF

Wie für das Risiko Wirtschaftlichkeit wurde auch für das Risiko Verfügbarkeit angenommen, dass der Bauwerkszustand jener Objekte, die bereits im Jahr 2016 in der Risikoklasse 5 sind, genauer untersucht wird. Dadurch kann der CF-Wert auf 0,729 gesenkt werden (Details zu den einzelnen Annahmen für Efficiency (E), Scope (S) und History (H) siehe Kapitel 2.5.5.5). Für die 38 betroffenen Brückenobjekte wirkt sich die Modifikation des CF-Wertes folgendermaßen aus:

- 17 Objekte, für die Reinvest 2016 vorgesehen war, bleiben weiterhin $R_{\text{Verfügbarkeit}} = 5$ => d.h. weiterhin Reinvest 2016
- Bei 21 Objekten, für die aufgrund eines hohen Risikos im Jahr 2016 IH-Maßnahmen vorgesehen waren, wird das Risiko auf $R_{\text{Verfügbarkeit}} = 4$ reduziert. Die vorgesehenen IH-Maßnahmen werden dadurch um bis zu 5 Jahre nach hinten verschoben.

In Abbildung 36 ist der Prognoseverlauf des Risikos Verfügbarkeit für die ursprüngliche Variante (vgl. Abbildung 34) der Variante mit modifiziertem CF-Wert gegenübergestellt. Die jahresweise Häufigkeitsverteilung für letztere Variante (Abbildung 37) ähnelt der ursprünglichen (Abbildung 33), d.h. die Risikoklassen 1 und 2 verschwinden mit fortschreitenden Analysezeitraum, die Risikoklasse 5 wird jeweils im Folgejahr eliminiert. An Ende des Betrachtungszeitraums befindet sich der Großteil der Objekte in der Risikoklasse 3.

Abbildung 36: Risiko Verfügbarkeit – Simulation eines gezielten PoF Workarounds infolge modifizierter Konfidenzbeiwerte CF (ursprüngliche Risikoproggnose links und Prognose mit modifiziertem CF-Wert rechts) (Spalten = Jahre, Zeilen = Brückenobjekte)



Abbildung 37: Häufigkeitsverteilung Risiko Verfügbarkeit über die Zeit infolge modifizierter Konfidenzbeiwerte

2.5.6.5 Zusammenfassung Maßnahmenableitung infolge Risikobewertung Verfügbarkeit

In Abbildung 38 sind die Ergebnisse beider Risikoanalysen innerhalb des Analysezeitraums in Form der resultierenden Maßnahmen aufgelistet. Unabhängig davon, ob die CF-Werte modifiziert wurden oder nicht, sind bei 49 Objekten aufgrund des Risikos Verfügbarkeit Maßnahmen erforderlich. 17 Objekte müssen unmittelbar (2016) erneuert werden, bei 32 Objekten ist eine Instandhaltung vorgesehen. Die modifizierten CF-Werte führen dazu, dass die meisten IH-Maßnahmen um bis zu 5 Jahre nach hinten verschoben werden.

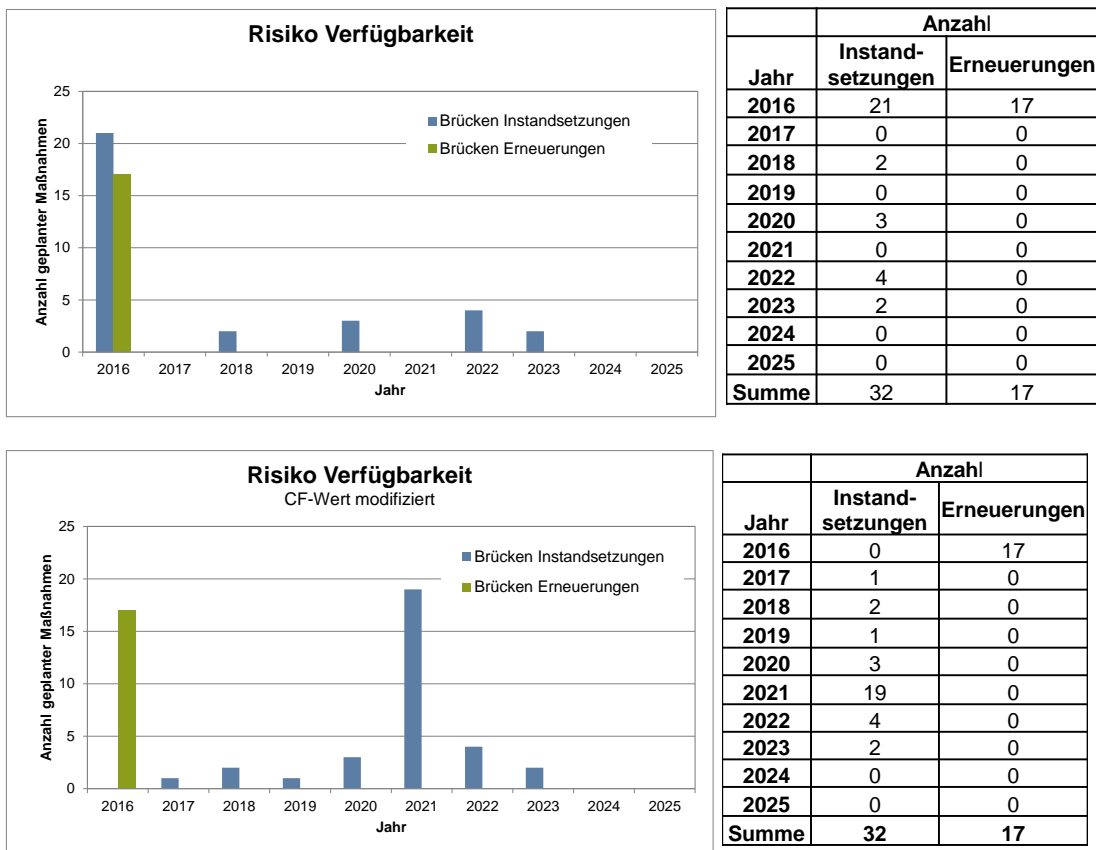


Abbildung 38: Maßnahmenvorschlag infolge Risikobewertung Verfügbarkeit mit ursprünglichen CF-Werten (oben) bzw. mit modifizierten CF-Werten (unten)

2.6 Vergleich der drei vorliegenden Maßnahmenableitungen

Abbildung 39 stellt die Ausgangslage vor der Maßnahmenableitung für alle drei Varianten zum Zeitpunkt der letzten Prüfung dar. Das linke Diagramm zeigt die Verteilung der Zustandsklassen, das mittlere die Verteilung der Risikoklassen Wirtschaftlichkeit und das rechte die Verteilung der Risikoklassen Verfügbarkeit. Wird der ausgearbeitete Vorschlag zur Maßnahmenableitung für die Brückenobjekte der Pilotstrecke Bruck/Graz auf Basis der Zustands-basierten **Strecken-LCM-Methodik FCP** betrachtet, so ist bei einem Objekt eine unmittelbare Reinvestition (im Jahr 2015) erforderlich. 13 weitere Brücken werden innerhalb des Analysezeitraumes bis 2025 erneuert. Bei 44 Brücken ist eine tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme vorgesehen. Ziel des Strecken-LCM war es, dass die Brückenobjekte zum Zeitpunkt 2025 in einem möglichst guten, nachhaltig nutzbarem Zustand vorliegen. Die sich daraus ergebende Zustandsverteilung am Ende des Analysezeitraums ist in Abbildung 41 (links) dargestellt. Für die dafür erforderlichen IH- und Reinvestmaßnahmen auf insgesamt ca. 5.100m² Brücken-Grundrissfläche sind 12,5 Mio. Euro (Barwert) vorzusehen (Tabelle 4).

Bei der Maßnahmenableitung hinsichtlich einer Reduktion des **Risikos Wirtschaftlichkeit** auf der Grundlage der Zustandsverteilung des Jahres 2012 bzw. der in das Jahr 2016 extrapolierten Zustandsverteilung (Szenario modifizierter CF Werte) ist für 8 Brückenobjekte eine unmittelbare Reinvestition und für 15 Brücken eine unmittelbare, tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme erforderlich (d.h. 2016). Weitere 46 Objekte bedürfen im weiteren Verlauf des Analysezeitraumes einer tiefgreifenden Instandhaltungsmaßnahme. Ziel der Maßnahmenableitung „Risiko Wirtschaftlichkeit“ war es, nach dem Prinzip „ALARP“ das Risiko Wirtschaftlichkeit auf ein vertretbares Maß zu senken. Die sich daraus ergebende Verteilung der Risikoklassen (Wirtschaftlichkeit) am Ende des Analysezeitraums ist in Abbildung 40 (Mitte) dargestellt. Für die dafür erforderlichen IH- und Reinvestmaßnahmen sind 12,2 Mio. Euro (Barwert) vorzusehen (Tabelle 4), womit Brücken im Umfang von insgesamt ca. 5.400 m² (bezogen auf deren Grundrissfläche) entweder saniert oder erneuert werden. Die Risikoanalyse fördert insbesondere eine Gruppe von 15+46 Objekten mit empfohlenen tiefgreifenden Instandsetzungsmaßnahmen zu Tage (=Priorisierung im Maßnahmenplan), bei denen andernfalls (bei ungehinderter, weiterer Degradation) eine vorzeitigen Reinvestition in Kauf genommen würde.

Werden die Maßnahmen hinsichtlich einer Reduktion des **Risikos Verfügbarkeit** ebenfalls auf der Grundlage der Zustandsverteilung des Jahres 2012 bzw. der in das Jahr

2016 extrapolierten Zustandsverteilung (Szenario modifizierter CF Werte) abgeleitet, so sind im Jahr 2016 insgesamt 17 Reinvestitionen unmittelbar vorzusehen. Bis 2025 müssen an weiteren 32 Brückenobjekten tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Ziel der Maßnahmenableitung „Risiko Verfügbarkeit“ war es auch hier, nach dem Prinzip „ALARP“ das Risiko Verfügbarkeit auf ein vertretbares Maß zu senken. Die sich daraus ergebende Verteilung der Risikoklassen (Verfügbarkeit) am Ende des Analysezeitraums ist in neuerlich in Abbildung 40 (rechts) dargestellt. Für die dafür erforderlichen IH- und Reinvestmaßnahmen sind 18,9 Mio. Euro (Barwert) vorzusehen (Tabelle 4). Das bedeutet zwar einen deutlich höheren finanziellen Aufwand als bei den beiden anderen Varianten, allerdings wird mit insgesamt fast 8.000 m² bezogener Grundrissfläche auch ein deutlich größerer Anteil der Brückenobjekte entweder saniert oder erneuert. Die Risikoanalyse fördert insbesondere eine Gruppe von 32 Objekten mit empfohlenen tiefgreifenden Instandsetzungsmaßnahmen zu Tage (=Priorisierung im Maßnahmenplan), bei denen andernfalls (bei ungehinderter, weiterer Degradation) eine vorzeitigen Reinvestition inkl. damit einhergehender umfangreicher Betriebserschwerung in Kauf genommen würde.

In Abbildung 39 sind die Zustandsklassen bzw. die Risikoklassen (Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit) zu Beginn des Analysezeitraums (d.h. vor der Maßnahmenableitung) dargestellt. Da diese Ausgangslage geprägt ist von der langjährigen, zustandsbasierten Instandhaltungsstrategie, die das Auftreten der Zustandsklasse 5 verhindert, sind in der Zustandsklassenverteilung nur die Klassen 1-4 vertreten, während in den beiden Risikoklassenverteilungen alle Klassen (1-5) vorkommen.

Demgegenüber stellt die Abbildung 41 für alle Varianten der Maßnahmenableitung die Prognose der Zustandsklassen am Ende des Analysezeitraums dar (die Prognose der Risikoklasse ist bereits in Abbildung 40 dargestellt).

Durch die zustandsbasierte Maßnahmenableitung wurden Objekte mit Zustandsklasse 4 erneuert und sind daher in Klasse 1 bzw. fallen bis 2025 mitunter in die Zustandsklasse 2. 44 Objekte mit anfänglicher Zustandsklasse 3 wurden durch Instandhaltungsmaßnahmen ebenfalls in die Klasse 2 gehoben.

Um das Risiko Wirtschaftlichkeit in vertretbarem Rahmen zu halten, waren weniger Erneuerungen notwendig, aber mehr IH-Maßnahmen. Dadurch wurde die Risikobewertung für den Großteil der Objekte auf die Klasse 3 reduziert. Der Zustand der betroffenen Objekte wurde durch die Maßnahmen aber zum Großteil in die Klasse 2 gehoben.

Die Maßnahmenableitung infolge Risikobewertung-Verfügbarkeit resultiert zwar in einer Reduktion dieses Risikos, es kann aber passieren, dass andere ausgewählte Objekte im Zuge dieses Mechanismus in die Zustandsklasse 5 fallen.

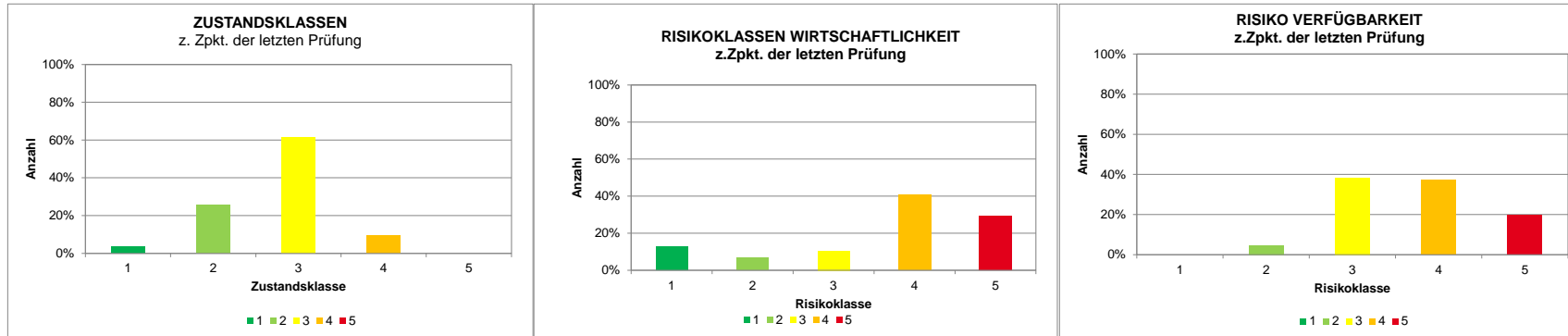


Abbildung 39: Ausgangslage vor der Maßnahmenableitung - **Zustandsklassen (links)** bzw. **Risikoklassen Wirtschaftlichkeit (Mitte)** und **Risikoklassen Verfügbarkeit (rechts)**

Tabelle 4: Vergleich der Ergebnisse der drei unterschiedlichen Maßnahmenableitungen, Ausgangslage

Maßnahmen	LC ZUSTANDSBASIIERT				RISIKO WIRTSCHAFTLICHKEIT				RISIKO VERFÜGBARKEIT			
	Anzahl	Fläche [m²]	Kosten [€] (Barwert)	Kosten [%]	Anzahl	Fläche [m²]	Kosten [€] (Barwert)	Kosten [%]	Anzahl	Fläche [m²]	Kosten [€] (Barwert)	Kosten [%]
IH	44	4.164	6.979.931	56%	61	4.788	8.318.788	68%	32	6.746	11.385.937	60%
Re	14	957	5.486.908	44%	8	648	3.919.021	32%	17	1.240	7.500.839	40%
Summe	58	5.121	12.466.839	100%	69	5.436	12.237.809	100%	49	7.985	18.886.776	100%

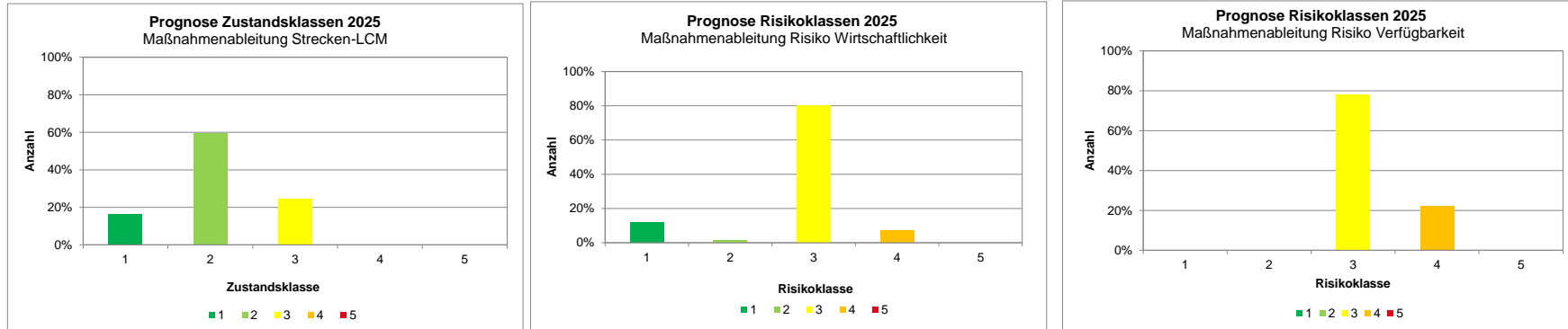


Abbildung 40: Prognose Zustandsklassen (links) bzw. Risikoklassen für das Jahr 2025 incl. Maßnahmenableitung infolge Risiko Wirtschaftlichkeit (Mitte) und Risiko Verfügbarkeit (rechts)

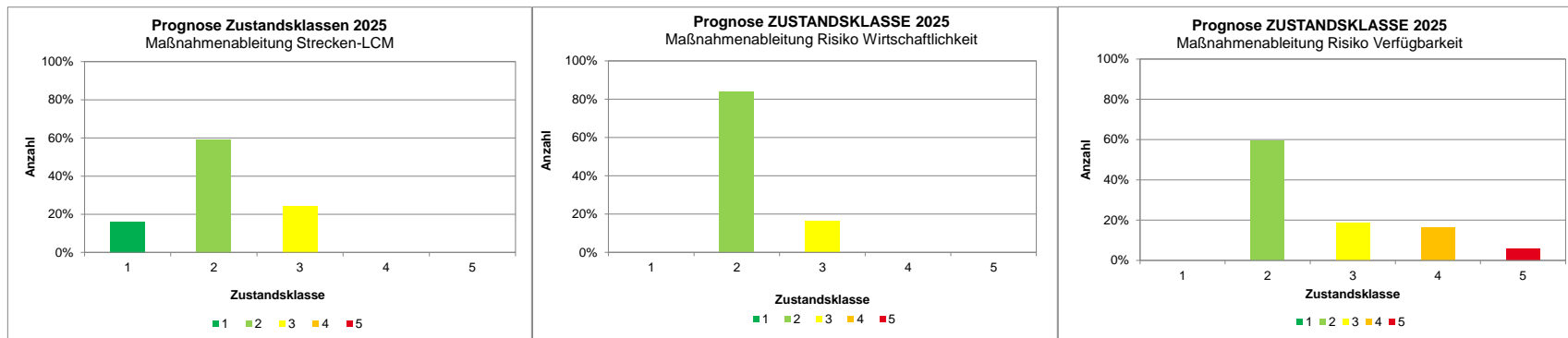


Abbildung 41: Prognose der Zustandsklassen 2025 unter Berücksichtigung der 3 Varianten der Maßnahmenableitung - Zustandsklassen infolge Maßnahmenableitung Strecken-LCM (links), Zustandsklassen infolge Maßnahmenableitung Risiko Wirtschaftlichkeit (Mitte) und Zustandsklassen infolge Maßnahmenableitung Risiko Verfügbarkeit (rechts)

BRÜCKEN- OBJEKT	LC-Zustand		RW		RV		Anzahl	
	IH2	Re	IH2	Re	IH2	Re	IH2	Reinvest
4004043							1	0
4004044							3	0
4004045							0	3
4004046							2	1
4004048							2	1
4004049							2	0
4004050							2	0
4004052							2	1
4004053							1	1
4004054							1	0
4004058							2	1
4004059							0	0
4004061							2	0
4004062							2	1
4004063							3	0
4004064							3	0
4004065							2	0
4004067							3	0
4004069							1	0
4004070							0	0
4004072							2	0
4004073							1	2
4004075							3	0
4004076							1	0
4004077							2	0
4004078							0	0
4004079							1	0
4004080							2	1
4004081							2	0
4004082							2	0
4004084							2	1
4004089							3	0
4004090							3	0
4004091							0	0
4004096							2	1
4004097							2	0
4004098							3	0
4004099							2	1
4004100							2	0
4004101							3	0
4004102							3	0
4004104							2	0
4004105							2	0
4004106							1	0
4004107							2	1
4004108							2	1
4004109							2	1
4004110							2	1
4004111							1	0
4004112							2	0
4004113							1	0
4004114							1	0
4004115							2	0
4004116							0	2
4004117							0	2
4004118							0	2
4004121							0	1
4011309							1	0
4011739							3	0
4011812							2	0
4011821							1	0
4011990							0	0
4012517							0	0
4014369							1	0
4014637							1	0
4014638							2	1
4014639							2	1
4014640							2	1
4014656							1	0
4014657							1	0
4014664							3	0
4014666							1	0
4014675							3	0
4014676							3	0
4014677							3	0
4014681							1	0
4014689							1	0
4014811							1	0
4014812							3	0
4014813							2	1
4014814							0	0
4014815							0	3
4014816							3	0
4014817							0	3
4014818							0	3
4019401							1	0

Maßnahmen	Anzahl
LC-Zustandsbasiert	
IH	44
RE	14
Summe	58
Anzahl nur LC	5
Risiko Wirtschaftlichkeit RW	
IH	61
RE	8
Summe	69
Anzahl nur RW	12
Risiko Verfügbarkeit RV	
IH	32
RE	17
Summe	49
Anzahl nur RV	4

von Maßnahmen betroffen:	
Anzahl Objekte insgesamt	79
davon in allen 3 Varianten	39
davon RW und RV	44

Legende:
 keine Maßnahme im Betrachtungszeitraum
 Maßnahme im Betrachtungszeitraum vorgesehen

Abbildung 42: Auflistung aller Brückenobjekte und Maßnahmenableitung für alle drei Varianten (Spalten LC-Zustand = Strecken-LCM, RW = Risiko Wirtschaftlichkeit, RV = Risiko Verfügbarkeit; IH2 = tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme, RE = Erneuerung)

In Abbildung 42 und der zugehörigen Tabelle sind die vorgeschlagenen Maßnahmenableitungen (infolge Strecken-LCM, Risiko Verfügbarkeit bzw. Risiko Wirtschaftlichkeit) für alle Brückenobjekte nochmals vergleichend aufgelistet die tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme und die Erneuerungsmaßnahmen ausgewiesen.

Zu sehen ist, dass 79 der 86 untersuchten Brückenobjekte entlang der Demostrecke Bruck-Graz prinzipiell in einer der drei Untersuchungsvarianten (Zustands-basiertes LCM, Risiko LCM Wirtschaftlichkeit bzw. Verfügbarkeit) von einer Maßnahme (IH oder Reinvest) betroffen wären. Für 7 Brückenobjekte ist daher bei keiner Untersuchungsvariante zur Maßnahmenableitung innerhalb des Betrachtungszeitraumes von 2016-2025 eine Maßnahme vorgesehen. Bei 4 Brückenobjekten ist bei allen untersuchten Varianten eine Erneuerung das Ergebnis, bei 17 Objekten ist das Ergebnis bei allen Untersuchungsvarianten eine tiefgreifende Instandhaltungsmaßnahme. Bei allen anderen 58 Objekten sind in einer der drei Varianten entweder Erneuerungen oder Instandhaltungsmaßnahmen erforderlich, um entweder den gewünschten Zustand oder eine vertretbare Risikoklasse zu erhalten.

2.7 Zusammenfassung Risikoapplikation Schieneninfrastruktur

In einem erste Schritt (Arbeitspaket 4) wurde zunächst das ursprünglich für das Infrastruktursystem Straße in Abstimmung mit der ASFINAG entwickelte Risiko-Grundmodell anhand des Risikohandbuchs der ÖBB an das Infrastruktursystem Schiene angepasst. In weiterer Folge wurde ergänzend zum PoF Modell Eisenbahnbrücken (siehe Deliverable D 2.1) eine Detaillierung hinsichtlich zweier Konsequenzkriterien (Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit) entwickelt. Während das Konsequenzkriterium Wirtschaftlichkeit im Wesentlichen von der Entwicklung des Restwertes der Anlage und dessen Relation zum Wiederbeschaffungswert abhängt, erfolgt die Einteilung eines Brückenobjektes in die Konsequenzklassen Verfügbarkeit im Wesentlichen anhand der Parameter Verkehrsbelastung, Anzahl der Gleise, Realisierbarkeit der baulichen Maßnahme und Abstand potentieller Überleitstellen.

Im nächsten Schritt (Arbeitspaket 5) wurde die entwickelte Risiko-LCM Applikation an einem Demo-Streckenabschnitt (Bruck/Mur-Graz) eingesetzt. Zu dieser Strecke liegen

Ergebnisse aus einem Pilotprojekt von FCP aus dem Jahr 2013-2014 vor, wobei damals eine mittelfristige LCM Maßnahmenableitung auf Grundlage eines Zustands-basierten Vorgehens vorgenommen wurde [7]. Auf dieser 54 km langen, zweigleisigen Strecke waren 89 Brückenobjekte zu analysieren.

Die ausgearbeiteten Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Wirksamkeit des Risikomodells ist sowohl für das Konsequenzkriterium Wirtschaftlichkeit als auch für jenes der Verfügbarkeit vollinhaltlich demonstriert worden. Bei der Maßnahmenableitung erfolgt eine Priorisierung hinsichtlich der hohen Risikoklassen, welche diese Anlagen einer zeitnahen baulichen Intervention zuführt. Dies betrifft über den definierten Zeithorizont 2016-2025 zunächst all jene Anlagen, welche bereits zu Beginn der Betrachtung Risiko-5-Objekte sind – in weiterer Folge werden auch jene Anlagen miteinbezogen, welche während dieser Zeitspanne noch infolge voranschreitender Degradation zu Risiko-5-Objekten werden. Alle anderen Anlagen werden mit minimalem Mitteleinsatz in den moderateren Risikoklassen gehalten.
- Im Zuge der Analyse der beiden durchgerechneten Varianten zeigt sich anhand der Maßnahmenableitung eine starke Abhängigkeit vom eingesetzten Risikomodell (Wirtschaftlichkeit vs. Verfügbarkeit), d.h. ob vom Algorithmus überhaupt eine Maßnahme vorgeschlagen wird und wenn ja in welchem Umfang (Reinvestition oder Instandsetzung) bzw. zu welchem Zeitpunkt.
- Auch die Wirksamkeit des Einflusses einer Modifikation der Konfidenzfaktoren (=Simulation einer nochmaligen Recherche/Verbesserung der Eingangsdaten) auf die Ergebnisse der Risikobasierten LCM Analyse konnte vollständig dargelegt werden.

Die vorliegenden Risiko-Analysen verfolgen das Ziel, im Vorfeld einer Maßnahmenableitung gleichermaßen wie die Zustands-basierte LCM-Analyse zum Zwecke der Priorisierung der Dringlichkeit potenzieller Instandsetzungsmaßnahmen herangezogen zu werden. Dabei wird keinerlei Favorisierung von einem der dargelegten Zugänge vorgenommen, alle drei Verfahren sollen gleichermaßen erarbeitet und für eine ausgewogene Maßnahmenentscheidung auf möglichst breiter Basis bzw. unter Berücksichtigung verschiedener Gesichtspunkte herangezogen werden.

3 EINSTEIN – APPLIKATION STRASSE

3.1 Eingangsdaten Risikoanalyse

Die erforderlichen Eingangsdaten für die Risikoanalysen im Bereich der Straße (Straßenoberbau und Brückenobjekte) wurden direkt aus den VIAPMS-Anwendungen (Datenbanken und Analysesysteme) des Straßenoberbaus (Pavement Management System) und Brückenobjekte (VIAPMS-Pilotprojekt Lebenszyklusanalyse Brückenobjekte) entnommen. Da beide Datenbanken bzw. Erhaltungsmanagementsysteme die Daten für das gesamte ASFINAG-Netz enthalten, konnte auch eine Analyse über das gesamte Straßennetz vorgenommen werden. Grundsätzlich handelt es sich bei den Eingangsdaten um die Inventardaten des Straßenoberbaus bzw. der Brückenobjekte sowie um die aktuellen Zustandsdaten beider Anlagentypen. Eine detaillierte Auflistung der Eingangsdaten kann dem Kapitel 3.4.1 entnommen werden.

3.2 Vorstellung Risikomodell und Risikomatrix

Der Ablauf der Berechnung der Risikowerte ist in Abbildung 43 dargestellt. Hierbei sind die benötigten Eingangswerte für die drei Kriterien CoF_Wirtschaftlichkeit, CoF_Verfügbarkeit und PoF gelistet und in weiterer Folge die Verknüpfung zur Ermittlung der entsprechenden Risikowerte Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit veranschaulicht. Auf Wunsch der Auftraggeber erfolgt hier keine weitere Zusammenfassung, sondern die Darstellung der Ergebnisse wird sowohl für die Wirtschaftlichkeit als auch für die Verfügbarkeit getrennt ausgeführt.

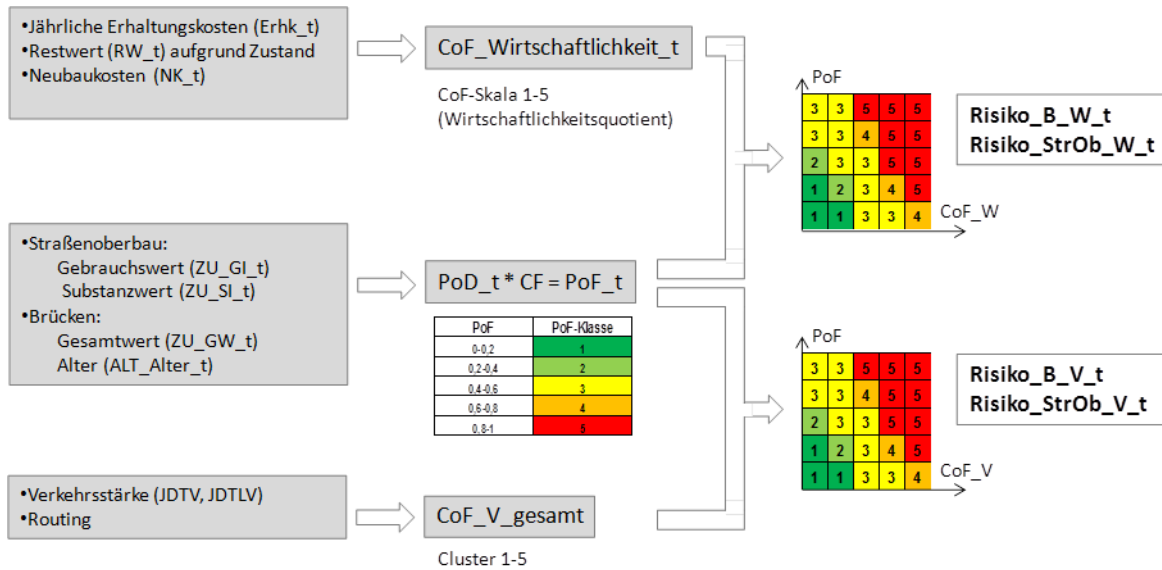


Abbildung 43: Ablauf der Risikoanalyse für den Straßenoberbau und die Straßenbrücken

Die so berechneten Risikowerte für die Verfügbarkeit und die Wirtschaftlichkeit können als Bewertung eines Maßnahmenvorschlags Verwendung finden, oder aber auch in ein Optimierungskriterium integriert werden und hierbei die Grundlage für einen risikobasierten Maßnahmenvorschlag bilden. Dies entspricht dann einer auf das jeweilige Risiko optimierten Erhaltungsstrategie.

Ausgangspunkt für die Erstellung der Risikomatrix war der Risikoworkshop, der im Zuge des Projekts bei der ASFINAG abgehalten wurde. Die dort gewonnenen Erkenntnisse wurden im Kapitel 4 (Ergebnisse Risikoworkshop) zusammengefasst und entsprechend aufbereitet in die Anwendung übernommen. Wie in Abbildung 43 schematisch dargestellt, kann über die jeweilige Risikomatrix mit den Eingangswerten PoF und CoF_W bzw. PoF und CoF_V das entsprechende Risiko ermittelt werden. Alle Eingangswerte sind einer Klasse (1-5) zugeordnet, ebenso ist der Ergebniswert eine entsprechende Risikoklasse (1-5). In der Anwendung wurden für die Risiken Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit die gleichen Risikomatrizen verwendet, wobei dies nicht zwingend so sein muss (siehe Abbildung 44) sondern auch entsprechend modifiziert werden kann.

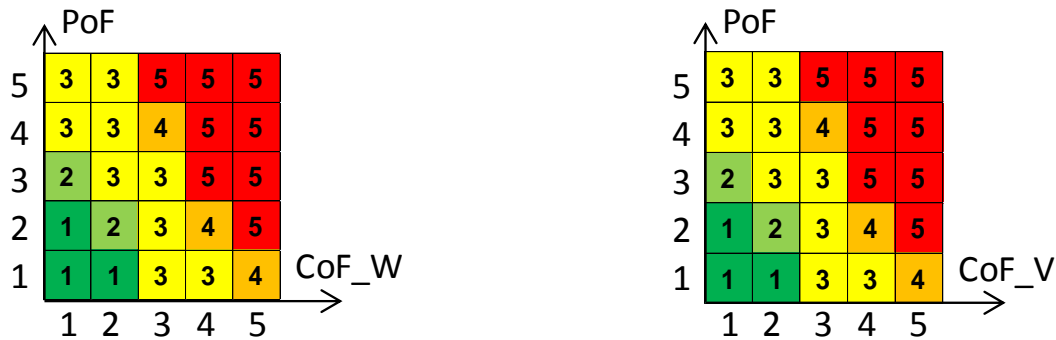


Abbildung 44: Risikomatrix Wirtschaftlichkeit und Risikomatrix Verfügbarkeit

3.3 Integration der Algorithmen in die Lebenszyklusanalyse

Für die praktische Umsetzung in VIAPMS™ werden die oben dargestellten Zusammenhänge, wie in den nächsten Kapiteln angeführt, in Formeln (zur Berechnung der Eingangsgrößen) und Analysevariablen (zur Berechnung der jährlichen Änderung der Werte) gegossen. Eine Liste der Eingangsgrößen und der Analysevariablen kann dem Anhang A entnommen werden. Der Anfangsbuchstabe kennzeichnet jeweils die Verwendungsgruppe (P...Pavement/Straßenoberbau und B...Brücke).

3.3.1 Probability of Deterioration PoD

3.3.1.1 Straßenoberbau

Die im Pavement Management der ASFINAG verwendeten Verhaltensfunktionen können für den Straßenoberbau direkt als Eingangswert zur Ermittlung der PoD-Funktion verwendet werden. Hierbei entspricht bezogen auf den Substanzwert sowie den Gebrauchswert Straßenoberbau ein Zustandswert von 5,0 einer PoD von 100% bzw. 1,0. Die gebildeten Teilwerte können in Anlehnung an die Bildung des Gesamtwertes Straßenoberbau in folgender Weise zusammengefasst werden:

$$PoD_{StrOb,SI} = \max[PoD_{StrOb,GI}; PoD_{StrOb,SI}] + 0,2 \cdot \min[PoD_{StrOb,GI}; PoD_{StrOb,SI}]$$

- PoD_{StrOb} Probability of Deterioration Straßenoberbau (gesamt)
- PoD_{StrOb,GI} Probability of Deterioration Straßenoberbau Gebrauchswert
- PoD_{StrOb,SI} Probability of Deterioration Straßenoberbau Substanzwert

Die nachfolgende Tabelle 5 sowie die dazugehörige Abbildung 45 zeigen das Ergebnis der Zusammenführung der beiden Teilwahrscheinlichkeiten zu einer Gesamtwahrscheinlichkeit für den Straßenoberbau.

Tabelle 5: PoD gesamt Straßenoberbau

		Substanzwert					
		1	2	3	4	5	
		0.05	0.10	0.21	0.46	0.97	
Gebrauchswert	1	0.10	0.11	0.12	0.23	0.48	0.99
	2	0.33	0.33	0.35	0.37	0.52	1.00
	3	0.55	0.56	0.57	0.59	0.64	1.00
	4	0.78	0.78	0.80	0.82	0.87	1.00
	5	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

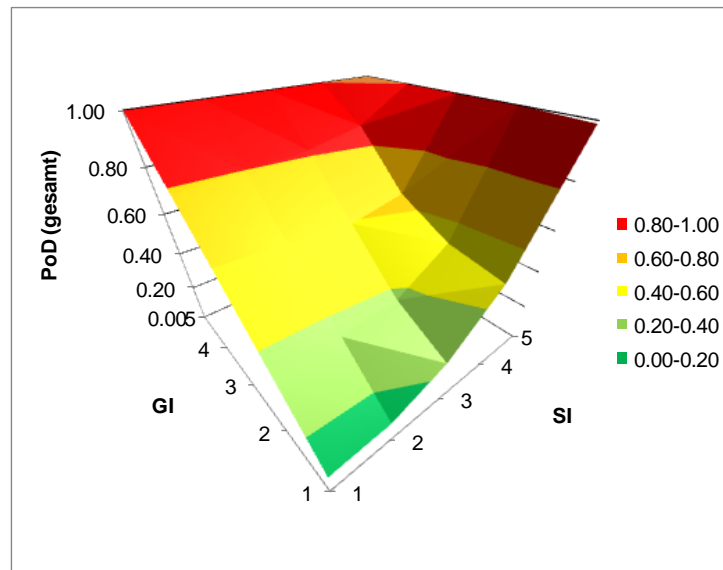


Abbildung 45: PoD gesamt Straßenoberbau

Das Ergebnis dieser Zusammenführung, die Probability of Deterioration Straßenoberbau (PoD), stellt die maßgebende Eingangsgröße für die Berechnung der Probability of Failure (PoF) dar und kann direkt für die weiterführende Beurteilung herangezogen werden.

3.3.1.2 Brücken

Zusätzlich zur Berücksichtigung des Zustandskriteriums Gesamtwert (GW) für die Entwicklung des PoD für Brückentragwerke soll auch der Einfluss des Brückenalters mitberücksichtigt werden. Das heißt der GW wird in einen PoD-Wert umgerechnet und der Ein-

fluss des Brückenalters bewirkt eine Erhöhung (bei jungen Brücken) bzw. eine Reduktion des PoD-Wertes. Zulässig ist in einem ersten Vorschlag eine Erhöhung bzw. Reduktion des PoD-Werts um maximal 20%. Die zur Anwendung kommende Funktion lautet wie folgt (Ergebnis begrenzt zwischen 0 und 1, für die graphische Darstellung siehe Abbildung 46):

$$PoD_{\text{Alter,Zustand}} = 0.25 * GW_{\text{Brücke}} - 0.25 + \text{Max}(-0.2, \text{Min}(0.2, 0.005714 * \text{Alter}_{\text{Brücke}} - 0.257))$$

$GW_{\text{Brücke}}$ Gesamtwert (Zustand)

$\text{Alter}_{\text{Brücke}}$ aktuelles Alter der Brücke

Tabelle 6: PoD gesamt Brückeobjekte

		Zustand				
		1	2	3	4	5
Alter	0	0.00	0.05	0.30	0.55	0.80
	10	0.00	0.05	0.30	0.55	0.80
	20	0.00	0.11	0.36	0.61	0.86
	30	0.00	0.16	0.41	0.66	0.91
	40	0.00	0.22	0.47	0.72	0.97
	50	0.03	0.28	0.53	0.78	1.00
	60	0.09	0.34	0.59	0.84	1.00
	70	0.14	0.39	0.64	0.89	1.00
	80	0.20	0.45	0.70	0.95	1.00

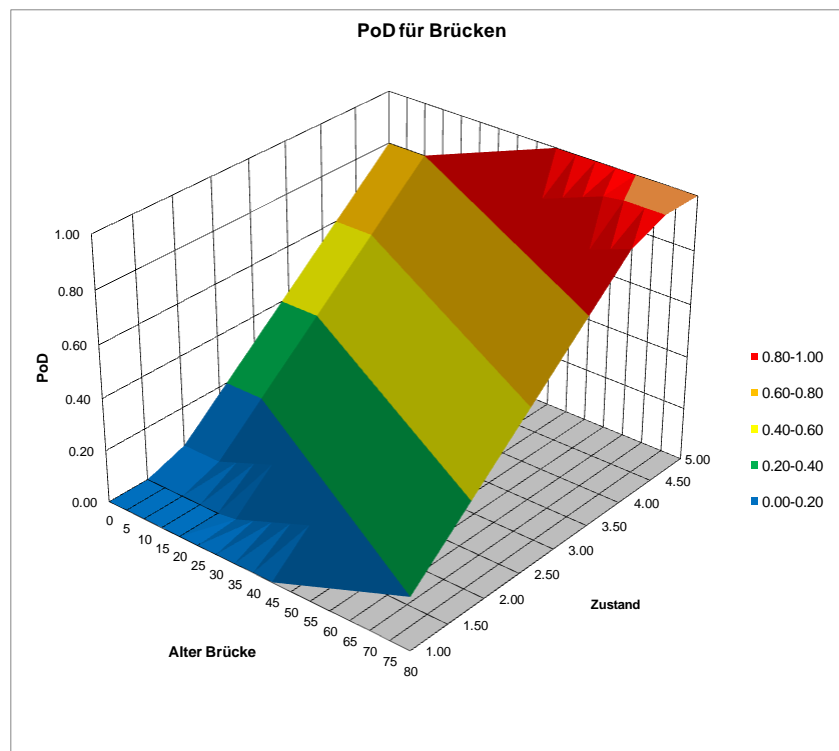


Abbildung 46: PoD gesamt Brückenobjekte

3.3.2 Entwicklung und Kalibrierung des PoD Modells

Aufbauend auf den Probability of Deterioration (PoD) kann die Wahrscheinlichkeit des Funktionsverlustes bzw. Versagens im Erhaltungsmanagement (PoF) nach folgender Formel berechnet werden:

$$PoF = PoD * CF$$

wobei:

PoF = Probability of Failure (Versagenswahrscheinlichkeit)

PoD = Probability of Deterioration (Alterungsfunktion), siehe Kapitel 3.3.1

CF = Confidence Factor (Konfidenzfaktor), siehe Kapitel 1.1.2

Der Konfidenzfaktor berücksichtigt die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Inspektionen, Prüfungen bzw. Zustandserfassungen. Grundsätzlich kann für den Straßenoberbau aber auch für einen Großteil der Brückentragwerke festgestellt werden, dass umfassende Daten der Zustandserfassung auf allen Abschnitten bzw. Objekten vorhanden sind und die Erfassung nach einer standardisierten, dem Stand der Technik entsprechenden Vorgehensweise erfolgt (siehe hierzu die entsprechenden RVS-Richtlinien). Daher kann generell von einem CF-Wert von 1 ausgegangen werden.

Es bietet sich jedoch die Möglichkeit insbesondere auf Brückenabschnitten mit hohen Risikowerten, ergänzende Inspektionsmaßnahmen durchzuführen. Dies kann in Folge mit einem reduzierten CF von 0,8 berücksichtigt werden.

Details hierzu finden sich im Deliverable D3.1, Kapitel 1.2 [8]

Die so ermittelten Wahrscheinlichkeiten werden jeweils einer PoF-Klasse (1-5) zugeordnet (siehe Tabelle 7) um des Weiteren über eine Risikomatrix ein Gesamtrisiko Wirtschaftlichkeit und ein Gesamtrisiko Verfügbarkeit generieren zu können.

Tabelle 7: Klassifikation der Wahrscheinlichkeit des Funktionsverlustes

PoF	PoF-Klasse
0-0,2	1
0,2-0,4	2
0,4-0,6	3
0,6-0,8	4
0,8-1	5

3.3.3 Definition CoF Wirtschaftlichkeit

Maßgebend sind vor allem die direkten (internen) Kosten, die als Grundlage für die Wirtschaftlichkeitsberechnung herangezogen werden. Eine detaillierte Betrachtung findet sich in Deliverable D3.1, Kap. 3.1.2, wobei zur Nachvollziehbarkeit der weiteren Auswertung die wichtigsten Eckpunkte hier angeführt werden. Folgende Kosten werden zur Ermittlung der Wirtschaftlichkeit herangezogen:

- Kosten der Erhaltungsmaßnahme für eine bestimmte Anlage ($ErhK_i$)
- Restwert der Anlage (RW_i)
- Neubaukosten (NK_i)

Sowohl die Kosten der Erhaltungsmaßnahmen als auch der Restwert verändern sich während der Betrachtungsperiode, sodass deren zeitlicher Verlauf von wesentlicher Bedeutung für die Berechnung der CoF-Wirtschaftlichkeit (CoF_W) ist.

Auf Grundlage dieser Kosten wird für jedes Jahr t innerhalb der Betrachtungsperiode der Wirtschaftlichkeitsquotient gebildet, der eine mögliche Lösung für die Beurteilung einer wirtschaftlichen Vorgehensweise im Rahmen des Erhaltungsmanagements darstellt:

$$Q_{CoF,W,i,s,t} = \frac{ErhK_{i,t} + RW_{i,t}}{NK_i}$$

$Q_{CoF,W,i,s,t}$ Wirtschaftlichkeitsquotient für Consequence of Failure der Anlage i zum Zeitpunkt t einer Maßnahmenstrategie s

$ErhK_{i,t}$Erhaltungskosten der Anlage i zum Zeitpunkt t

$RW_{i,t}$Restwert der Anlage i zum Zeitpunkt t

NK_iNeubaukosten der Anlage i

nBetrachtungsperiode

Für die Beurteilung der CoF-Wirtschaftlichkeit (CoF_W) muss in einem nächsten Schritt der Wirtschaftlichkeitsquotient in eine entsprechende CoF-Skala transformiert werden, die ebenfalls 5 Klassen aufweist. Diese Risiko-Kenngröße kann für jedes Jahr in der Betrachtungsperiode ermittelt werden.

Tabelle 8: CoF-Wirtschaftlichkeit (CoF_W) und Bewertungsskala

Q_{CoFW}	CoF_W
0-0,2	5
0,2-0,4	4
0,4-0,6	3
0,6-0,8	2
$\geq 0,8$	1

Grundsätzlich ist es auch möglich, eine andere Vorgehensweise für die Beurteilung der Wirtschaftlichkeit vorzunehmen. So könnte z.B. nur der jeweilige Restwert in Relation zu den Neubaukosten betrachtet werden, da der Restwert ja auch die Investitionen in die Erhaltung eines Abschnittes oder eines Objektes beinhaltet. Dabei müsste lediglich die Bewertungsskala diesem neuen Quotienten angepasst werden. Unabhängig von der Art der Beurteilung der Wirtschaftlichkeit erscheint es sinnvoll und zweckmäßig, die Erhaltungsaufwendungen immer in Relation zu den Neubaukosten zu setzen und anhand dieses Vergleichs die Konsequenzenachse zu definieren.

3.3.4 Definition CoF Verfügbarkeit

Die Beurteilung des Verfügbarkeitsrisikos auf den Straßen- und Brückenabschnitten der ASFINAG bezieht einerseits die vorhandene Verkehrsstärke und die Anzahl der ein, andererseits wurde allen Abschnitten eine entsprechende Routing-Klasse zugeordnet. Hierbei kamen folgende Klassen zur Anwendung:

- Routing 1: Umleitung über ASFINAG-NETZ
- Routing 2: Umleitung über Landesstraßennetz (B/L)
- Routing 3: Umleitung eingeschränkt über sonstiges Straßennetz

Abbildung 47 zeigt graphisch die Verteilung der Routingwerte im Netz der ASFINAG.



Abbildung 47: Routing im ASFINAG-Netz

Mittels Clusteranalyse (Details siehe Deliverable D3.1, Kapitel 3.2) konnten folgende Regeln zur Zuordnung einer CoF_V Klasse erstellt werden. Tabelle 9 enthält die im Zuge der Projektbearbeitung gegenüber der Darstellung in D3.1 leicht geänderte Clusterzuteilung, da sich herausstellte, dass die Anzahl der Fahrstreifen für die Zuordnung der Cluster nicht von Einfluss war.

Tabelle 9: Entscheidungsregeln für Klassifizierung des Verfügbarkeitskriteriums

CLUSTER	BESCHREIBUNG	DESKRIPTOREN
Cluster 1	Geringfügige Verkehrseinschränkung	<ul style="list-style-type: none"> Niedriger JDTV (≤ 26.100 Kfz/24h) Niedriger JDTLV (≤ 1.860 Lkw/24h) Routing beliebig (R=1-3)
Cluster 2	Eingeschränkte Umleitungsmöglichkeiten	<ul style="list-style-type: none"> Niedriger JDTV (≤ 26.100 Kfz/24h) Mittlerer JDTLV (1.860 Lkw/24h < JDTLV ≤ 6.500 Lkw/24h) Routing beliebig (R=1-3)
Cluster 3	Mittlere Verkehrseinschränkung	<ul style="list-style-type: none"> Mittlerer JDTV (>26.100 Kfz/24h) Mittlerer JDTLV (≤ 6.500 Lkw/24h) Routing beliebig (R=1-3) <p><u>oder</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Mittlerer bis hoher JDTV (26.100 Kfz/24h < JDTV)

		Kfz/24h)) <ul style="list-style-type: none"> • Hoher JDTLV (> 6.500 Lkw/24h) • Sehr gutes Routing (R=1)
Cluster 4	Starke Verkehrseinschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlerer JDTV ($26.100 \text{ Kfz/24h} \leq \text{JDTV} \leq 85.000 \text{ Kfz/24h}$) • Hoher JDTLV (> 6.500 Lkw/24h) • Mittleres Routing (R=2)
Cluster 5	Sehr starke Verkehrseinschränkung	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher JDTV (> 85.000 Kfz/24h) • Hoher JDTLV (> 6.500 Lkw/24h) • Mittleres Routing (R=2)

Die so ermittelte CoF Verfügbarkeitsklasse ist dementsprechend eine über die Zeit konstante Größe, ergibt jedoch in Verknüpfung mit dem über die Zeit veränderlichen PoF-Wert über die Risikomatrix (siehe Abbildung 43) ein zeitlich veränderliches Risiko für die Verfügbarkeit.

3.4 Umsetzung des Risikomodells anhand der ASFINAG Streckenabschnitte

3.4.1 Gewählte Vorgehensweise

3.4.1.1 Allgemein

Grundlage für die Umsetzung des im Projekt entwickelten Risikomodells bilden die vorhandenen Daten und Datenbanken für die Bereiche Straßenoberbau und Brückentragwerke. In einem ersten Schritt sollen mit den vorhandenen Daten die entwickelten Zusammenhänge mit Leben und sichtbaren Ergebnissen gefüllt werden. So können zum Beispiel für das bestehende Bauprogramm der ASFINAG für die Jahre 2015-2020, die sich daraus ergebenden Risiken im Hinblick auf die Verfügbarkeit und die Wirtschaftlichkeit ermittelt und dargestellt werden. Diese Zwischenergebnisse wurden beim 6. Projektmeeting (Jänner 2016) vorgestellt. Wunsch der Auftraggeber war jedoch auch eine rein risikobasierte Optimierung zu ermöglichen und nicht nur vorhandene Maßnahmenvorschläge risikobasiert zu bewerten.

Daraufhin wurden in einem zweiten Schritt die getesteten Zusammenhänge in eine freie PMS-Analyse (ohne Maßnahmenzwänge aus dem Bauprogramm) implementiert und im

vorliegenden Bericht kann die Veränderung des Maßnahmenvorschlags auf Grundlage einer Risikooptimierung im Vergleich zur aktuellen Standardanalyse gem. Handbuch Pavement Management in Österreich 2009 [9] diskutiert werden.

Die verwendeten Daten entstammen der jeweiligen Asset Management Datenbank des Auftraggebers, aus der bisherigen Anwendung ergibt sich auch die Bildung homogener Abschnitte. Für das ASFiNAG-Netz wurde vom Auftraggeber eine Liste mit 183 längeren, netzrelevanten Abschnitten zur Verfügung gestellt, für die das jeweilige Risiko berechnet und dargestellt werden soll. Im Zuge des Projekts erfolgt die Darstellung getrennt nach Objekttyp (Straße & Brücke), nach Risikogruppe (Verfügbarkeit & Wirtschaftlichkeit) und nach Richtungsfahrbahn.

3.4.1.2 Straßenoberbau

Für den Straßenoberbau im ASFiNAG-Netz besteht seit Ende der 90er Jahre das Pavement Management Tool VIAPMSTM, aus welchem alle relevanten Daten für die erste Umsetzung der EINSTEIN Risikoanalyse übernommen werden können. Eine nachfolgende Verfeinerung und Erweiterung ist in jedem Falle möglich.

Die für den Straßenoberbau verwendeten Eingangsdaten sind 1.102 hinsichtlich Zustand, Aufbau und Beanspruchung homogene Straßenabschnitte. Für die Anwendung des risikobasierten Bewertungsalgorithmus sind zusätzlich zu den vorhandenen Analysevariablen folgende Größen maßgebend (siehe Tabelle 10):

Tabelle 10: Eingangsdaten Straßenoberbau

Name	Beschreibung	Parent	Type	Nminimum	Nmaximum
GEO_Flaeche_HFS	Flaeche HFS	P_LCCA_hom	Double	0	1000000
GEO_Flaeche_NFS	Flaeche NFS	P_LCCA_hom	Double	0	1000000
RISK_CF	Confidenze Faktor	P_LCCA_hom	Single	0.7	1.35
RISK_CoF_V	Risikokonsequenze Verfügbarkeit	P_LCCA_hom	Integer	1	5
RISK_CoF_W_gesamt	Risikokonsequenze Wirtschaftlichkeit	P_LCCA_hom	Integer	1	5
RISK_NK_gesamt	Neubaukosten	P_LCCA_hom	Double	0	100000000
RISK_PoD_GI_HFS	Gebrauch - Risiko	P_LCCA_hom	Double	0	100
RISK_PoD_HFS	Risiko Zustand Hauptfahrstreifen	P_LCCA_hom	Single	0	1.35
RISK_PoD_SI_HFS	Substanz - Risiko	P_LCCA_hom	Double	0	100
RISK_PoF_Klasse_HFS	Risikoklasse Zustand	P_LCCA_hom	Integer	0	5
RISK_Routing	Routing	P_LCCA_hom	Integer	1	3
RISK_RW_gesamt	Restwert	P_LCCA_hom	Double	0	100000000
RISK_V_HFS	Risiko Verfügbarkeit HFS	P_LCCA_hom	Integer	1	5
RISK_W_HFS	Risiko Wirtschaftlichkeit HFS	P_LCCA_hom	Integer	1	5
VK_JDTLV_akt_Jahr	Schwerverkehr in [Lkw/24h] im aktuellen Jahr	P_LCCA_hom	Long Int	0	50000
VK_JDTV_akt_Jahr	Verkehrsbelastung im aktuellen Jahr	P_LCCA_hom	Long Int	0	150000
ZU_ZW_GI_HFS	Zustandswert Gebrauchswert HFS	P_LCCA_hom	Double	1	5
ZU_ZW_GI_NFS	Zustandswert Gebrauchswert NFS	P_LCCA_hom	Double	1	5
ZU_ZW_GW_HFS	Zustandswert Gesamtwert HFS	P_LCCA_hom	Double	1	5
ZU_ZW_GW_NFS	Zustandswert Gesamtwert NFS	P_LCCA_hom	Double	1	5
ZU_ZW_SI_HFS	Zustandswert Substanzwert HFS	P_LCCA_hom	Double	1	5
ZU_ZW_SI_NFS	Zustandswert Substanzwert NFS	P_LCCA_hom	Double	1	5

Zusammenfassung der Daten auf ASFINAG Risikoabschnitte

Der Risikoscore für den gesamten Straßenoberbau-Abschnitt wird als längengewichteter Mittelwert der Risiken beider Richtungsfahrbahnen berechnet (siehe Abbildung 48). Dies erzielt die besten Ergebnisse, da der Einzelabschnitt vor allem über seine Länge Einfluss auf das Wirtschaftlichkeits- aber auch das Verfügbarkeitsrisiko hat. Je länger der schlechte Abschnitt, desto länger die Maßnahme und desto höher die Maßnahmenkosten und somit das wirtschaftliche Risiko bzw. die Beeinträchtigung der Verfügbarkeit. Ergänzend wird auch der Anteil des Abschnitts in Klasse 5 (hohes Risiko) ausgewiesen, dieser kann Werte von 0 (kein Anteil in Klasse 5) bis 100% (gesamter Abschnitt in Klasse 5) annehmen.

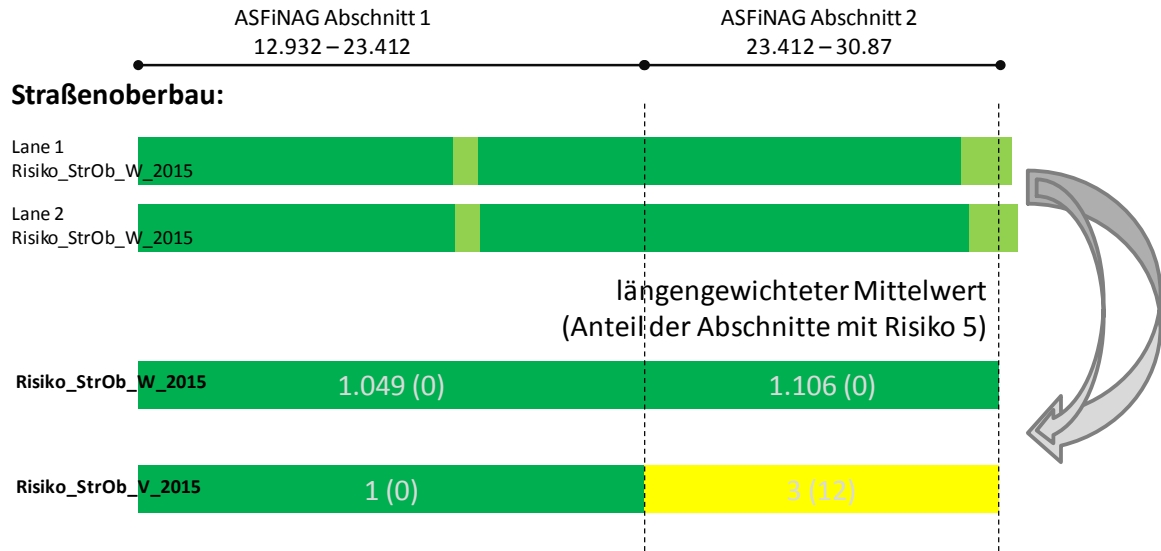


Abbildung 48: Zusammenführung Straßenoberbau

3.4.1.3 Brückentragwerke

Ebenso wurde für die Brückenobjekte der ASFiNAG in VIAPMS™ eine Datenbank als Grundlage für die Lebenszykluskostenanalyse aufgebaut. Diese kann im gegenständlichen Projekt als Grundlage für die Brückendaten herangezogen werden. Es erleichtert auch die weitere Vorgangsweise, da der Straßenoberbau und die Brückeninformationen in ähnlicher Weise weiterbearbeitet werden können.

Die für die Brücken verwendeten Eingangsdaten sind in 3.522 Objekte gegliedert, die stets einem Straßenabschnitt zugeordnet werden können. Für die Anwendung des risiko-basierten Bewertungsalgorithmus sind folgende Größen maßgebend (siehe Tabelle 11):

Tabelle 11: Eingangsdaten Brücken

Name	Beschreibung	Parent	Type	Nminimum	Nmaximum
ALT_Alter_aktuell	aktuelles Alter	B_LCCA	Small Int	0	300
INV_L_max	maximale Feldlänge	B_LCCA	Decimal	0	9000
INV_Flaeche	Inventar Fläche	B_LCCA	Decimal	0	100000000
RISK_CF	Confidence Faktor	B_LCCA	Decimal	0.7	1.35
RISK_CoF_V	Risikokonsequenz Verfügbarkeit	B_LCCA	Integer	1	5
RISK_CoF_W_gesamt	Risikokonsequenz Wirtschaftlichkeit	B_LCCA	Integer	1	5
RISK_NK_gesamt	Neubaukosten	B_LCCA	Double	0	100000000
RISK_PoD_GW	Wahrscheinlichkeit der Alterung	B_LCCA	Integer	1	5
RISK_PoF_Klasse	Risikoklasse Zustand	B_LCCA	Integer	0	5
RISK_Routing	Routing	B_LCCA	Integer	1	3
RISK_RW_gesamt	Restwert	B_LCCA	Double	0	100000000
RISK_V	Risiko Verfügbarkeit	B_LCCA	Integer	1	5
RISK_W	Wirtschaftlichkeitsrisiko HFS	B_LCCA	Integer	1	5
VK_JDTLV_akt_Jahr	Schwerverkehr in [Lkw/24h] im aktuellen Jahr	B_LCCA	Long Int	0	50000
VK_JDTV_akt_Jahr	Verkehrsbelastung im aktuellen Jahr	B_LCCA	Long Int	0	150000
ZU_Gesamtwert	Zustand Gesamtwert (reelle Zahl)	B_LCCA	Double	1	5

Zusammenfassung der Daten auf ASFINAG Risikoabschnitte

Für die Zusammenführung des Risikos von Brückenobjekten wurde auf den flächengewichteten Mittelwert zurückgegriffen (wie in Abbildung 49 dargestellt), da dies maßgebender die Investitionen und die Wirtschaftlichkeit beeinflusst als die Brückenlänge in Richtung der Fahrbahn und auch querende Brücken (Überführungen) ebenfalls im System abgebildet sind.

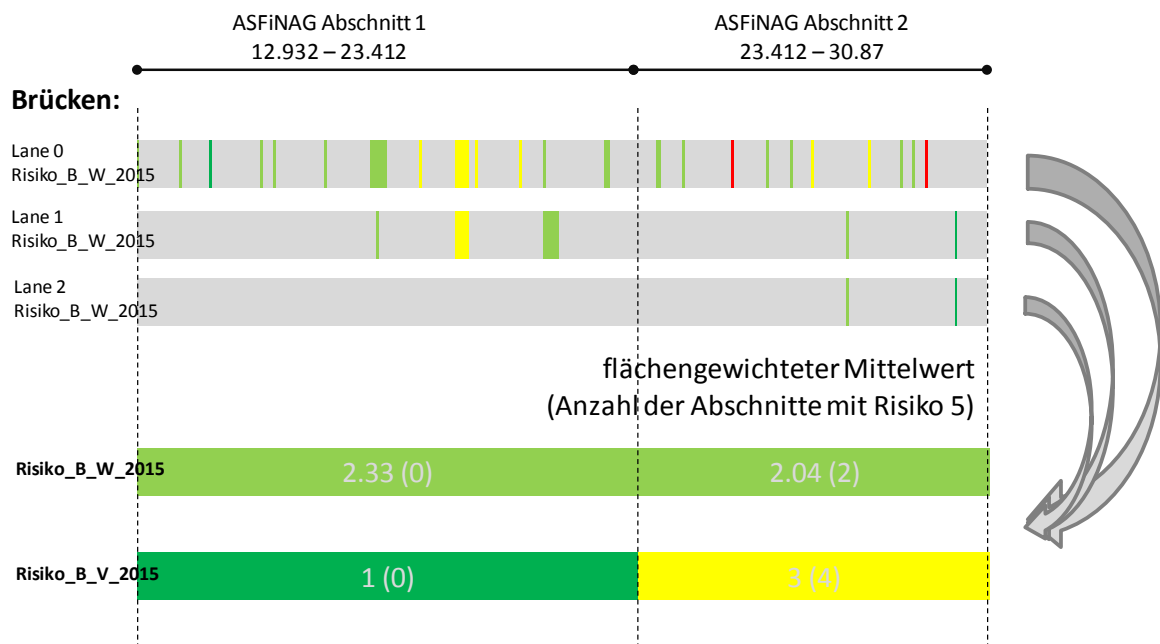


Abbildung 49: Zusammenführung Brücken - Wirtschaftlichkeit

3.4.2 Optimierungsverfahren

Das Pavement Management System für den Straßenoberbau ist bei der ASFINAG seit mehr als 10 Jahren in Anwendung, dieses gut funktionierende Tool soll nun um eine Risikooptimierung erweitert werden. Daher war die Prämisse, möglichst die Grundstruktur des Systems zu übernehmen und einzelne Elemente um Risikoaspekte zu erweitern. So können die berechneten Risikowerte direkt im Optimierungsverfahren eingesetzt und als Optimierungskriterium Verwendung finden.

Für einen detaillierten Vergleich der Veränderung des Maßnahmenvorschlags und des Instandsetzungsintervalls wurden die unten angeführten drei Szenarien herangezogen. Die Eingangsdaten und das Verfahren an sich sind stets identisch, so wird bei allen Vari-

anten als Optimierungsfunktion die Fläche zwischen den Kurven (Nichts-Tun-Variante und Maßnahmen-Variante, siehe hierzu Handbuch Pavement Management in Österreich 2009) herangezogen, wobei sich die Variable, für welche die Fläche gerechnet wird, unterscheidet.

- **Standardoptimierung** ohne Infrastrukturinvestitionsprogramm (IIP)
 Optimierungskriterium: Gesamtwert (JAV_ZU_ZW_GW_gesamt)
- **Risikooptimierung** ohne IIP
 Optimierungskriterium: Gesamtrisiko = Summe der Risiken Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit (P_JAV_RISK_W_V) [Bezeichnung Risiko_W_V]
- **Risiko- und Gesamtwertoptimierung** ohne IIP
 Optimierungskriterium: Gesamtrisiko * Gesamtwert (P_JAV_RISK_W_V_GW)
 [Bezeichnung Risiko_W_V_GW]

Allen Varianten wird das gleiche Budget zugrunde gelegt, wobei dieses den tatsächlich zur Verfügung stehenden Budgets aus der Bauprogrammsplanung entspricht. Im Bereich des Straßenoberbaus ist dies ein konstantes jährliches Budget von max. 120 Mio. €/Jahr, für die Optimierung der Brückenabschnitte wird ein jährlich veränderliches Budget von 100-205 Mio. €/Jahr angesetzt.

Die Veränderungen werden in Bezug auf 2 Zeithorizonte ausgewertet:

- **Kurzfristige Veränderung 2015-2020, (entspricht dem Zeitraum des fixierten IIP)**
- **Langfristige Veränderung über den gesamten Analysezeitraum (Straße: 2015-2034; Brücke 215-2044)**

3.4.2.1 Maßnahmenauswahl

Die Anwendungsgrenzen zur Erstellung aller technisch sinnvollen Maßnahmen beziehen sich unter anderem auch auf die einzelnen Zustandsgrößen (Spurrinnen, Griffigkeit,...) und wurden im Zuge der Risikooptimierung daher nicht geändert. Die Maßnahmenreihung und -auswahl erfolgt über das Kosten/Nutzen Verhältnis, welches auf Grundlage der Risikowerte berechnet wird (vorangehender Absatz). Somit kann es durch eine risikobasierte Optimierung zu einer geänderten Maßnahmenauswahl (Änderung in Art der Maßnahme und Zeitpunkt möglich) kommen. Die Grundgesamtheit der Maßnahmen aus welcher die Auswahl getroffen wird, ist aber bei allen drei Optimierungsvarianten dieselbe.

3.4.3 Veränderung in den Zustandsverteilungen

Die Ergebnisse können direkt in Tabellenform in VIAPMS™ Version 9.5 betrachtet werden; wenn Geoinformationen vorhanden sind, können die Daten ebenfalls auf einer Karte dargestellt werden. Zur einfacheren Distribution der Ergebnisse können diese in gängige Formate wie Excel, Access,... exportiert werden.

Zusätzlich zu den zwei Zeithorizonten werden auch 2 Abschnittseinteilungen ausgewertet, das sind einerseits die Abschnitte wie sie aus der VIAPMS Analyse entstehen und andererseits die Ergebnisse aggregiert auf die in Kapitel 3.4.1 beschriebenen ASFINAG Abschnitte. Für sämtliche Auswertungen werden die Ergebnisse der Standardoptimierung als Ausgangspunkt angenommen und die Veränderungen der Zustandsverteilungen im Bezug auf Ergebnisse der Standardoptimierung ausgewertet. Kennwerte des Zustands sind auf den Straßenabschnitten der Substanzwert auf dem Hauptfahrstreifen (SI_HFS) und der Gebrauchswert auf dem Hauptfahrstreifen (GI_HFS), auf den Brücken der „errechnete“ Gesamtwert (GW) (gem. VIAPMS Brückenpilotprojekt 2015/16 [10]). Die Risikowerte werden für die Wirtschaftlichkeit (Risiko_W_HFS, Risiko_W) und die Verfügbarkeit (Risiko_V_HFS, Risiko_V) dargestellt.

3.4.3.1 Straße – VIAPMS Abschnitte

Die Zustandsverläufe sind bei allen drei Optimierungsvarianten ähnlich, ein leichter Anstieg vor allem der Klasse „sehr gut & gut“ gegen Ende der Analyseperiode ist zu erkennen. Die graphischen Auswertungen werden aber der Vollständigkeit halber in Tabelle 12 und Tabelle 13 dargestellt. Der detaillierte Vergleich erfolgt im Anschluss.

Tabelle 12: Zustandsverteilung aller Optimierungsvarianten für Substanz- und Gebrauchswert

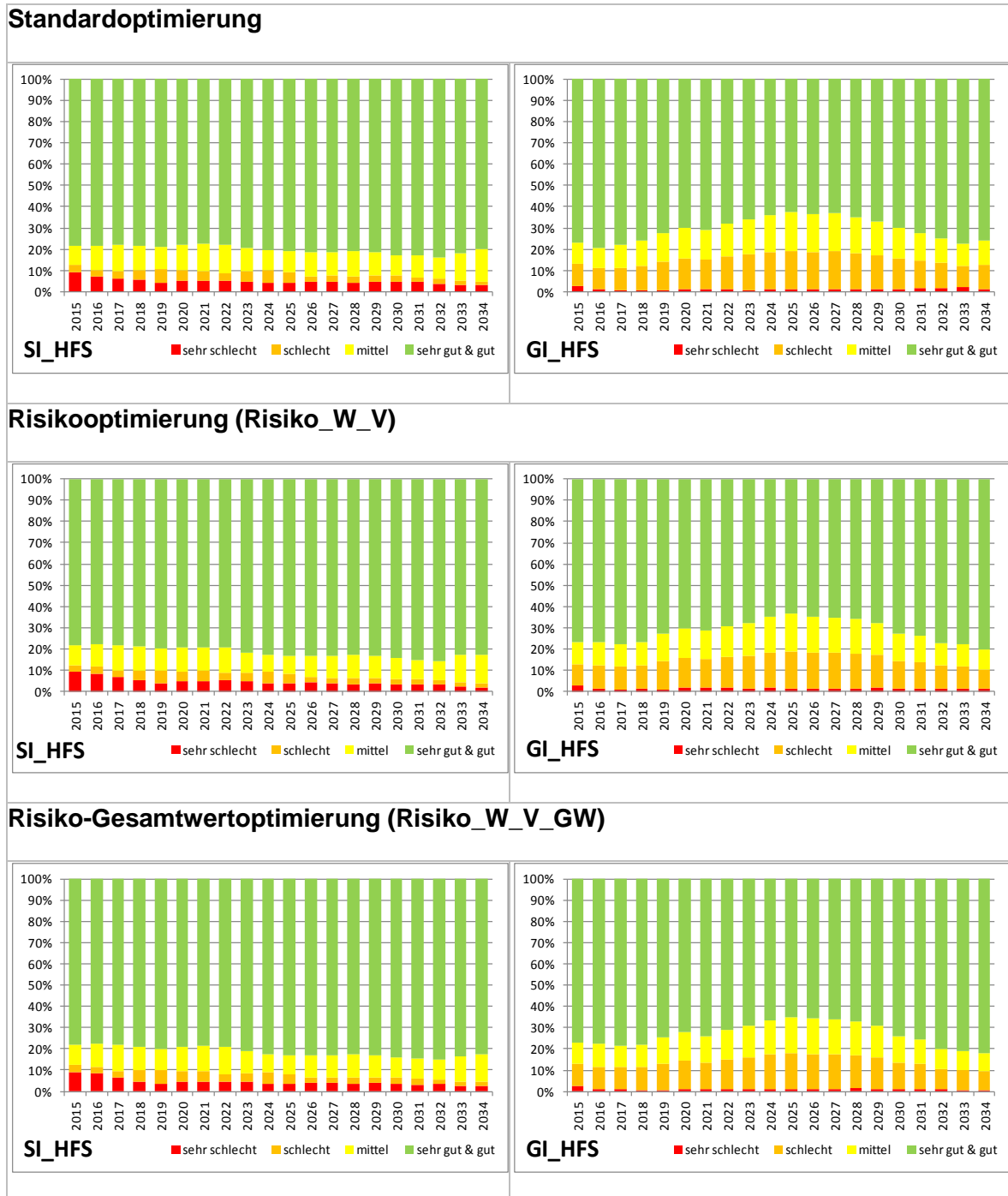
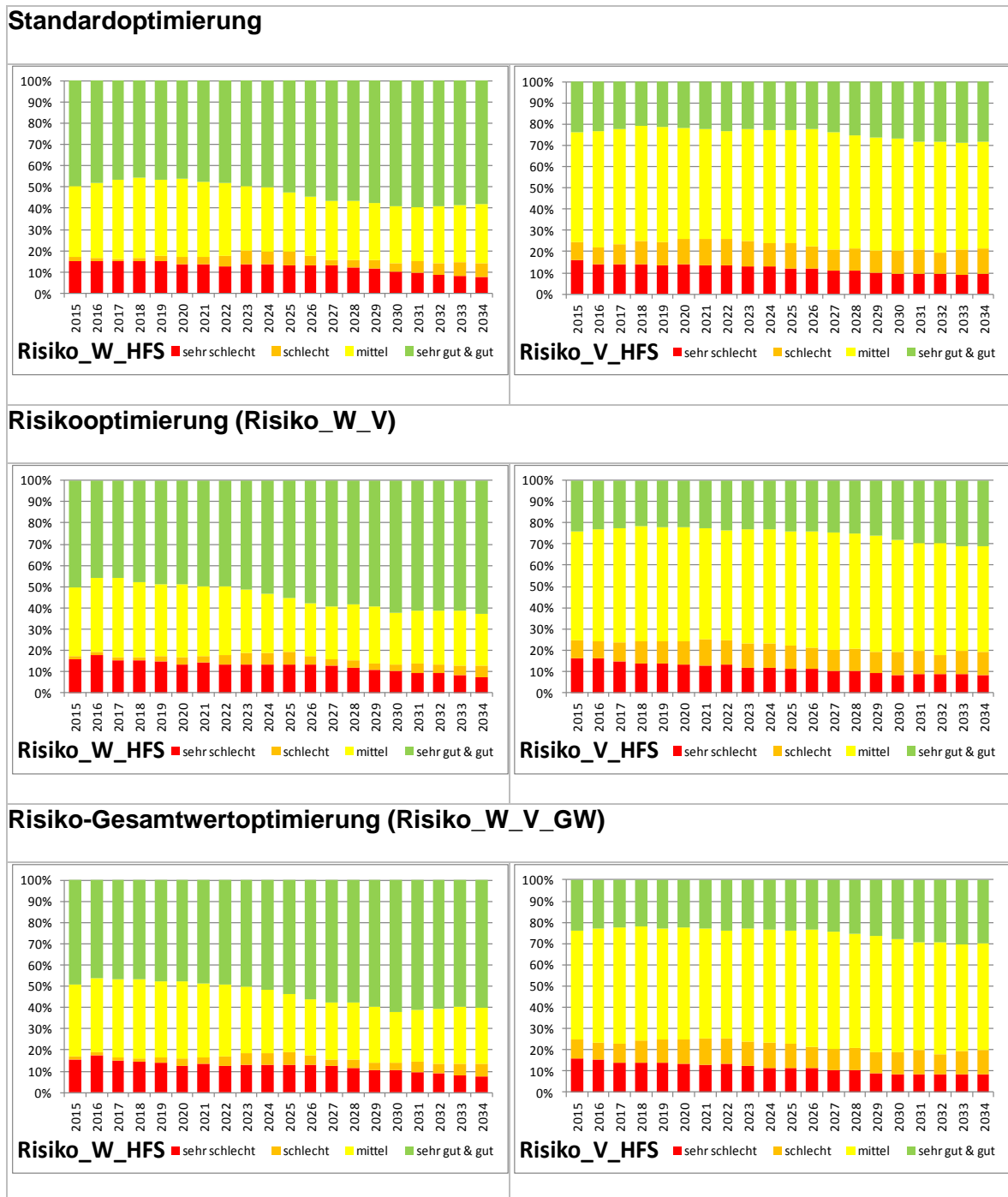


Tabelle 13: Zustandsverteilung aller Optimierungsvarianten für die Risikowerte



Die mittlern jährlichen Veränderungen der Zustandsentwicklung sind in Relation zur Standardoptimierung besser zu erkennen (siehe Abbildung 50 und Abbildung 51), wobei zu beachten ist, dass es um Änderungen im Bereich von maximal 1,5 % handelt. Grundsätzlich kann von einer leichten Entzerrung der Ergebnisse gesprochen werden, die Anteil-

le in der Klasse „sehr gut & gut“ werden größer und teilweise auch jene in der Klasse „sehr schlecht“. Die Veränderungen fallen im Mittel über den gesamten Analysezeitraum etwas größer aus, was darauf hindeutet, dass die Veränderungen in den späteren Analysejahren größer werden.

Grundsätzlich bestätigen aber die geringen Abweichungen, dass bei der derzeit zur Anwendung kommenden Standardanalyse auch risikorelevante Faktoren Berücksichtigung finden und eine Risikooptimierung das Ergebnis nicht vollständig verändert.

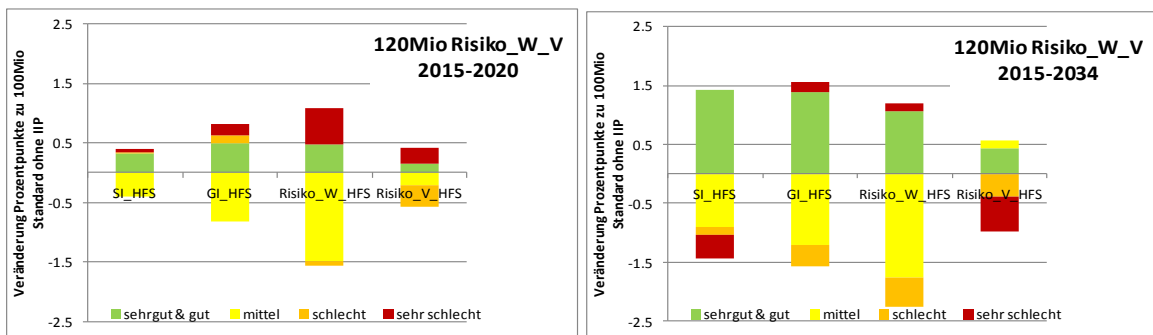


Abbildung 50: Veränderung Zustandsentwicklung Risiko- vs. Standardoptimierung

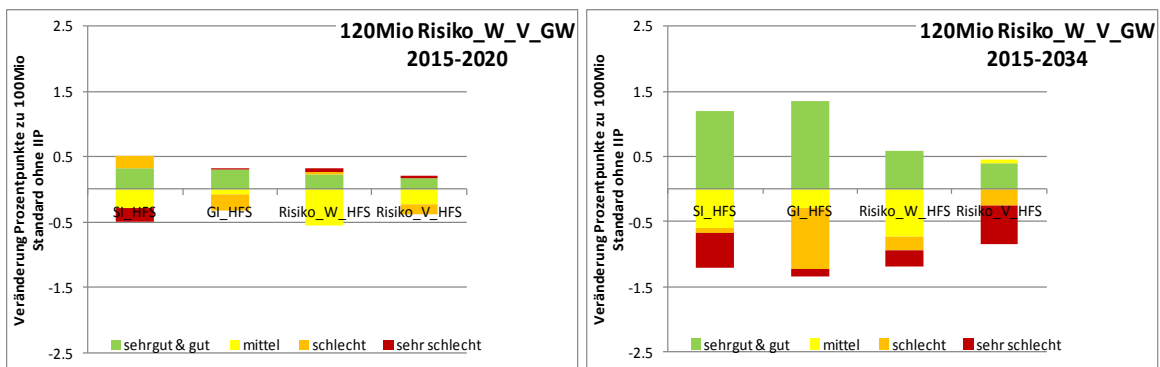


Abbildung 51: Veränderung Zustandsentwicklung Risiko GW- vs. Standardoptimierung

Auch das mittlere Deckschichtalter kann als Indikator für die Veränderung des gewählten Instandsetzungszeitpunkts herangezogen werden. Getrennt nach Bauweise (Asphalt und Beton) wird die Entwicklung des mittleren Alters in Abbildung 52 dargestellt. Die Graphik zeigt auf, dass durch die Risikooptimierung tendenziell Maßnahmen auf Asphaltdecken

und auf Betondecken etwas früher gesetzt werden. Wobei bei Betondecken die Veränderung erst gegen Ende des Analysezeitraums erkennbar wird.

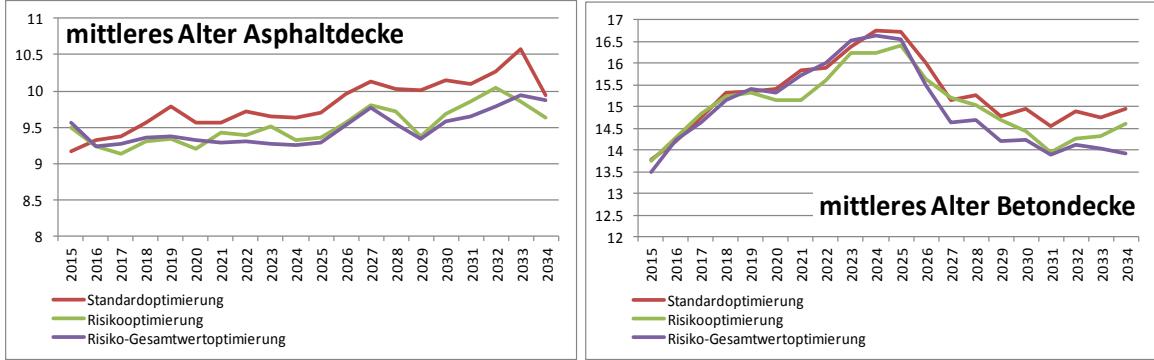


Abbildung 52: Veränderung des Alters der Deckschicht

Die Ergebnisse für jeden Einzelabschnitt und jede Optimierungsvariante sind als Excel-Tabellen in der unten dargestellten Form verfügbar bzw. in der Datenbank selbst vorhanden und in Abbildung 53 nur exemplarisch dargestellt.

RISK_Standard			CoF_W_gesamt					PoF_Klasse					Risk_W					Risk_V								
Road	From	To	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	FS_2015	IFS_2016	IFS_2017	IFS_2018	IFS_2019	IFS_2020
A0001_L	8.936	9.58	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
A0001_L	9.58	19.576	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
A0001_L	19.576	20.108	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
A0001_L	20.108	30.103	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	30.103	32.17	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	32.17	34.512	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4
A0001_L	34.512	36.979	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	36.979	44.029	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	4	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
A0001_L	44.029	54.029	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
A0001_L	54.029	59	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5

Risikooptimierung			CoF_W_gesamt					PoF_Klasse					Risk_W					Risk_V								
Road	From	To	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	FS_2015	IFS_2016	IFS_2017	IFS_2018	IFS_2019	IFS_2020
A0001_L	8.936	9.58	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
A0001_L	9.58	19.576	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
A0001_L	19.576	20.108	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
A0001_L	20.108	30.103	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	30.103	32.17	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	32.17	34.512	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4
A0001_L	34.512	36.979	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	36.979	44.029	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	4	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
A0001_L	44.029	54.029	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
A0001_L	54.029	59	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5

Risiko-Gesamtwertoptimierung			CoF_W_gesamt					PoF_Klasse					Risk_W					Risk_V								
Road	From	To	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	FS_2015	IFS_2016	IFS_2017	IFS_2018	IFS_2019	IFS_2020
A0001_L	8.936	9.58	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
A0001_L	9.58	19.576	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
A0001_L	19.576	20.108	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
A0001_L	20.108	30.103	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	30.103	32.17	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	32.17	34.512	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4
A0001_L	34.512	36.979	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	36.979	44.029	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	4	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
A0001_L	44.029	54.029	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
A0001_L	54.029	59	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5

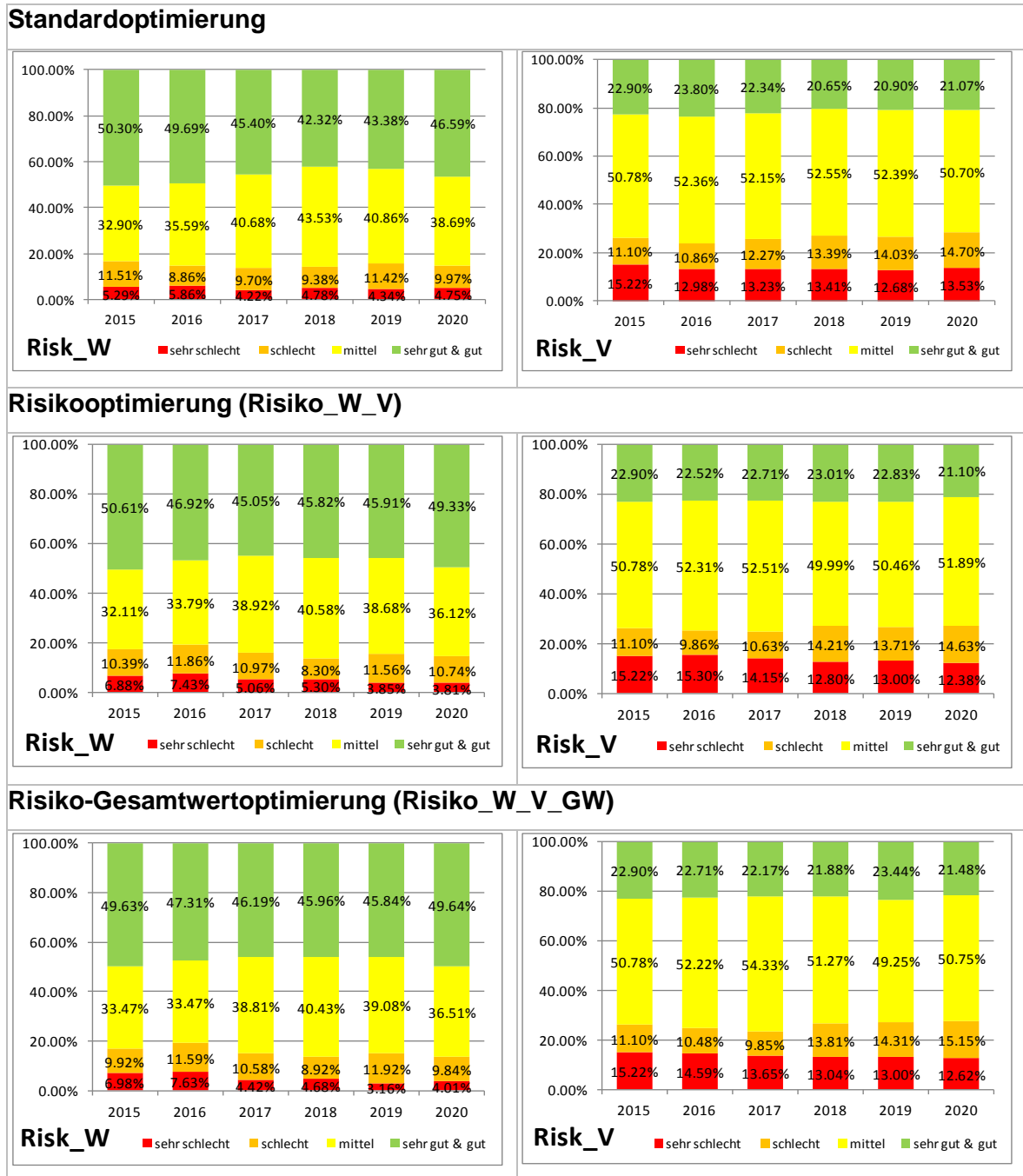
RISK_IP_2015_2020			CoF_W_gesamt					PoF_Klasse					Risk_W					Risk_V								
Road	From	To	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	FS_2015	IFS_2016	IFS_2017	IFS_2018	IFS_2019	IFS_2020
A0001_L	8.936	9.58	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	3	4	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1
A0001_L	9.58	19.576	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
A0001_L	19.576	20.108	1	1	1	1	1	1	3	2	3	3	3	3	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2
A0001_L	20.108	30.103	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	30.103	32.17	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	32.17	34.512	2	2	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4
A0001_L	34.512	36.979	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3
A0001_L	36.979	44.029	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	4	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	4	4	4
A0001_L	44.029	54.029	1	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4
A0001_L	54.029	59	2	3	3	2	2	2	2	2	3	3	3	3	2	3	3	3	3	3	4	4	4	5	5	5

Abbildung 53: Ergebnisse Einzelabschnitt

3.4.3.2 Straße – ASFINAG Abschnitte

Entsprechend der Definition in Kapitel 3.4.1.2 wurden die Risikowerte Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit für die längeren ASFINAG-Abschnitte zusammengefasst. So wie in der vorangegangenen Auswertung kann auch hier die Verteilung der Standardoptimierung und die Veränderung dieser Verteilungen aufgrund der Risikooptimierung dargestellt werden (siehe Tabelle 14 und Abbildung 54).

Tabelle 14: Zustandsverteilung aller Optimierungsvarianten für die Risikowerte



Die Veränderung der Risikoverteilung zeigt hier deutlicher die Spreizung der Klassen, ein geringerer Anteil in der mittleren Klasse und höhere Anteile in den guten und schlechten Klassen, wobei stets die maximale Veränderung von lediglich 2% je Klasse zu berücksichtigen ist.

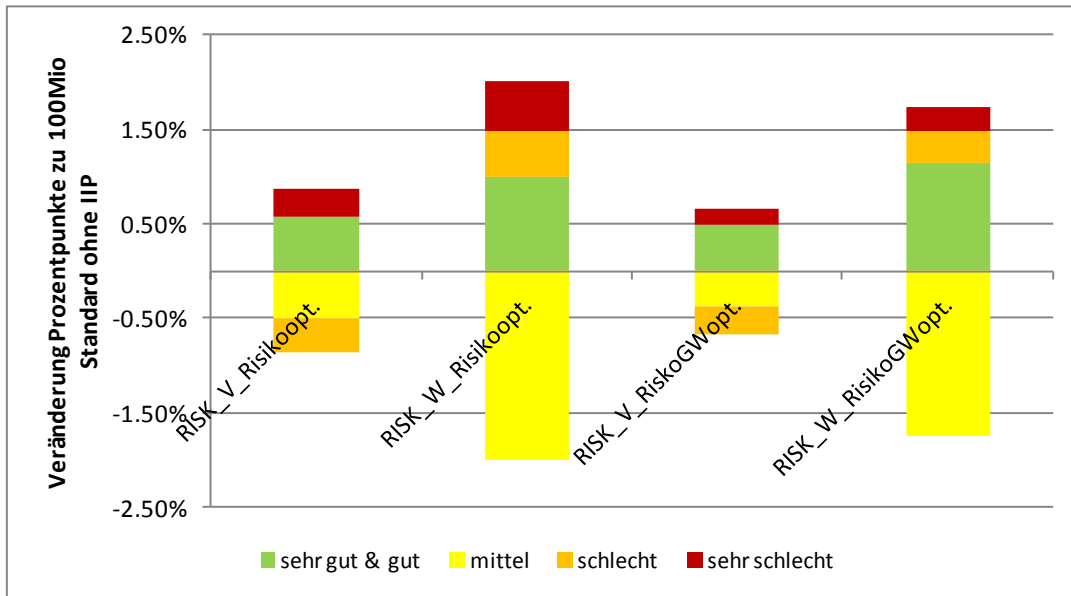


Abbildung 54: Veränderung der Zustandsverteilung in Bezug auf die Standardoptimierung, Straße

Die Ergebnisse für jeden ASFINAG-Abschnitt und jede Optimierungsvariante sind als Excel-Tabellen in der unten dargestellten Form verfügbar bzw. in der Datenbank selbst vorhanden und daher in Abbildung 55 nur exemplarisch dargestellt.

Standardanalyse_120mio					PoF_Klasse						Risk_V						Risk_W																	
Road	From	To	ASFINAG	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5
A0001_L	12.932	23.412	1	1	2.05	2.00	2.05	2.05	2.37	3.00	1.68	0	1.63	0	1.68	0	1.68	0	1.68	0	2.32	0	1.05	0	1.00	0	1.05	0	1.05	0	1.37	0	2.00	0
A0001_L	23.412	30.87	2	3	2.10	2.10	2.10	2.10	3.00	3.00	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	2.00	0	2.00	0
A0001_L	30.87	41.584	3	3	3.00	3.00	3.22	3.65	3.65	3.65	3.00	0	3.00	0	3.22	0	3.65	0	3.65	0	3.65	0	2.22	0	2.22	0	2.22	0	2.65	0	2.65	0	2.87	0
A0001_L	41.584	47.949	4	3	3.62	3.62	3.62	4.00	4.00	4.00	3.62	0	3.62	0	3.62	0	4.00	0	4.00	0	4.00	0	2.62	0	2.62	0	2.62	0	3.00	0	3.00	0	3.62	0
A0001_L	47.949	58.456	5	3	3.16	3.16	3.58	3.58	3.58	3.58	4.00	0	4.00	0	4.42	42	4.42	42	4.42	42	4.42	42	2.58	0	2.58	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.58	0
A0001_L	58.456	74.061	6	4	2.71	2.71	3.00	3.62	3.71	3.80	4.71	71	4.71	71	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.19	0	2.19	0	2.38	0	3.00	0	3.09	0	3.60	25
A0001_L	74.061	86.734	7	4	3.07	3.07	3.07	3.88	3.68	3.75	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	4.87	93	4.93	93	2.07	0	2.07	0	2.07	0	2.88	0	2.75	0	2.75	0

Risikooptimierung_120mio					PoF_Klasse						Risk_V						Risk_W																	
Road	From	To	ASFINAG	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5
A0001_L	12.932	23.412	1	1	2.05	2.00	2.05	2.05	2.37	3.00	1.68	0	1.63	0	1.68	0	1.68	0	1.68	0	2.32	0	1.05	0	1.00	0	1.05	0	1.05	0	1.37	0	2.00	0
A0001_L	23.412	30.87	2	3	2.10	2.10	2.10	2.10	3.00	3.00	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	2.00	0	2.00	0
A0001_L	30.87	41.584	3	3	3.00	3.00	3.22	3.65	3.65	3.65	3.00	0	3.00	0	3.22	0	3.65	0	3.65	0	3.65	0	2.22	0	2.22	0	2.22	0	2.65	0	2.65	0	2.87	0
A0001_L	41.584	47.949	4	3	3.62	3.62	3.62	4.00	4.00	4.00	3.62	0	3.62	0	3.62	0	4.00	0	4.00	0	4.00	0	2.62	0	2.62	0	2.62	0	3.00	0	3.00	0	3.62	0
A0001_L	47.949	58.456	5	3	3.16	3.16	3.58	3.58	3.58	3.58	4.00	0	4.00	0	4.42	42	4.42	42	4.42	42	4.42	42	2.58	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.58	0
A0001_L	58.456	74.061	6	4	2.71	2.71	3.00	3.62	3.71	3.80	4.71	71	4.71	71	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.19	0	2.22	0	2.57	10	3.19	10	3.28	10	3.69	35
A0001_L	74.061	86.734	7	4	3.07	3.07	3.07	3.88	3.88	3.68	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.07	0	2.07	0	2.07	0	2.88	0	2.88	0	2.75	0

Risiko- GW Optimierung_120mio					PoF_Klasse						Risk_V						Risk_W																		
Road	From	To	ASFINAG	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	
A0001_L	12.932	23.412	10.48	1	1	2.05	2.00	2.05	2.05	2.37	3.00	1.68	0	1.63	0	1.68	0	1.68	0	1.68	0	2.32	0	1.05	0	1.00	0	1.05	0	1.05	0	1.37	0	2.00	0
A0001_L	23.412	30.87	7.458	2	3	2.10	2.10	2.10	2.10	3.00	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	2.00	0	2.00	0	
A0001_L	30.87	41.584	10.714	3	3	3.00	3.00	3.22	3.65	3.65	3.00	0	3.00	0	3.22	0	3.65	0	3.65	0	3.65	0	2.22	0	2.22	0	2.22	0	2.65	0	2.65	0	2.87	0	
A0001_L	41.584	47.949	6.365	4	3	3.62	3.62	3.62	4.00	4.00	3.62	0	3.62	0	3.62	0	4.00	0	4.00	0	4.00	0	2.62	0	2.62	0	2.62	0	3.00	0	3.00	0	3.62	0	
A0001_L	47.949	58.456	10.507	5	3	3.16	3.16	3.58	3.58	3.58	4.00	0	4.00	0	4.42	42	4.42	42	4.42	42	4.42	42	2.58	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.58	0	
A0001_L	58.456	74.061	15.605	6	4	2.71	2.71	3.00	3.62	3.71	3.80	4.71	71	4.71	71	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.19	0	2.22	0	2.38	0	3.00	0	3.09	0	3.60	25
A0001_L	74.061	86.734	12.673	7	4	3.07	3.07	3.07	3.88	3.88	3.68	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.07	0	2.07	0	2.07	0	2.88	0	2.88	0	2.75	0

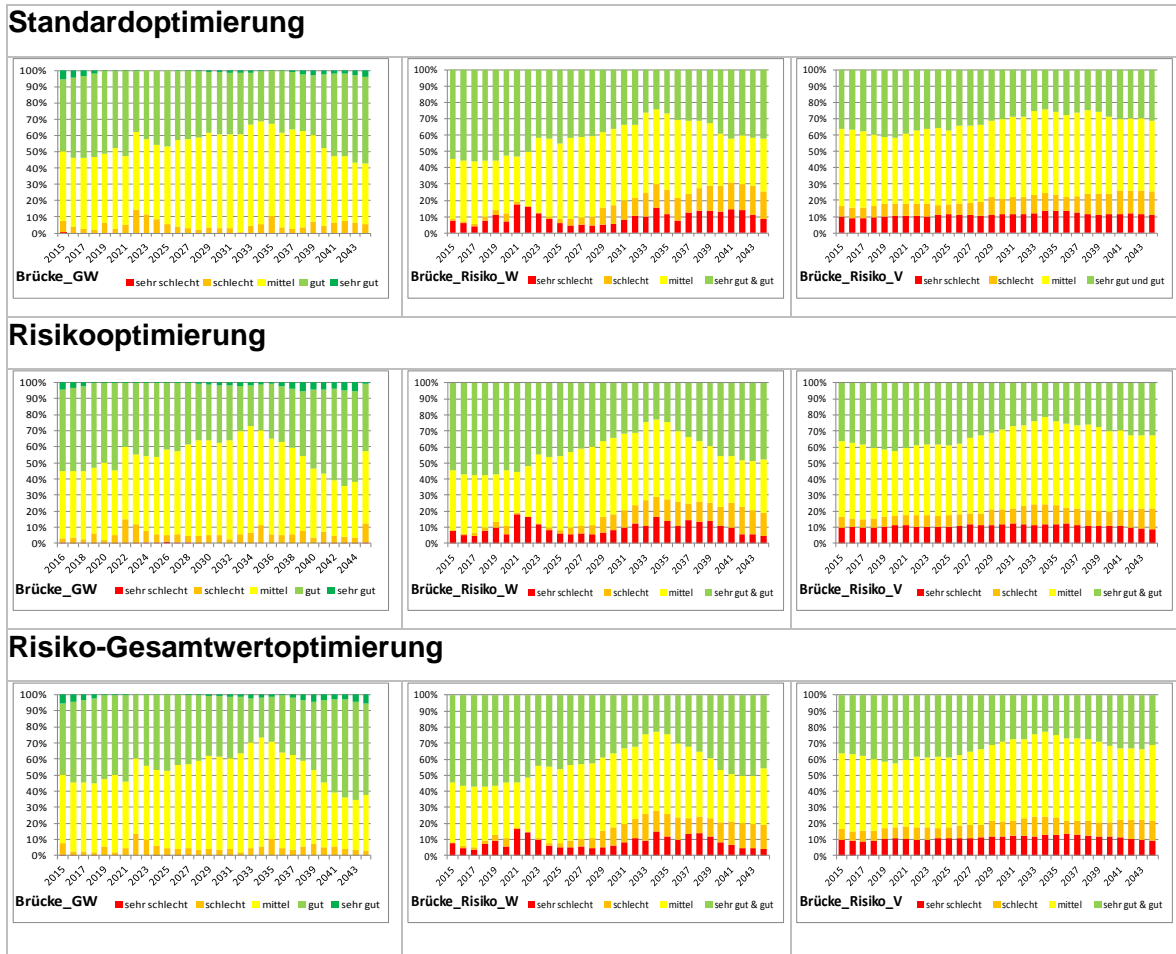
Result_IIP					PoF_Klasse						Risk_V						Risk_W																	
Road	From	To	ASFINAG	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5
A0001_L	12.932	23.412	1	1	2.05	2.00	2.05	2.05	2.37	3.00	1.68	0	1.63	0	1.68	0	1.68	0	1.68	0	2.32	0	1.05	0	1.00	0	1.05	0	1.05	0	1.37	0	2.00	0
A0001_L	23.412	30.87	2	3	2.10	2.10	2.10	2.10	3.00	3.00	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	1.10	0	2.00	0	2.00	0
A0001_L	30.87	41.584	3	3	3.00	3.00	3.22	3.65	3.65	3.65	3.00	0	3.00	0	3.22	0	3.65	0	3.65	0	3.65	0	2.22	0	2.22	0	2.22	0	2.65	0	2.65	0	2.87	0
A0001_L	41.584	47.949	4	3	3.62	3.62	3.62	4.00	4.00	4.00	3.62	0	3.62	0	3.62	0	4.00	0	4.00	0	4.00	0	2.62	0	2.62	0	2.62	0	3.00	0	3.00	0	3.62	0
A0001_L	47.949	58.456	5	3	3.16	3.16	3.58	3.58	3.58	3.58	4.00	0	4.00	0	4.42	42	4.42	42	4.42	42	4.42	42	2.58	0	2.58	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.58	0
A0001_L	58.456	74.061	6	4	2.71	2.71	3.00	3.62	3.71	3.80	4.71	71	4.71	71	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.19	0	2.19	0	2.57	10	3.19	10	3.28	10	3.69	35
A0001_L	74.061	86.734	7	4	3.07	3.07	3.07	3.88	3.68	3.75	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	5.00	100	2.07	0	2.07	0	2.07	0	2.88	0	2.75	0	2.75	0

Abbildung 55: Ergebnisse ASFINAG-Abschnitte

3.4.3.3 Brücke – VIAPMS Abschnitte

Die Zustandsverläufe sind bei allen drei Optimierungsvarianten ähnlich, wobei der geringere Anteil in der Klasse „schlecht“ und „sehr schlecht“ in der Verteilung der Risikowerte zu erkennen ist. Die graphischen Auswertungen werden aber der Vollständigkeit halber in Tabelle 15 dargestellt. Der detaillierte Vergleich erfolgt im Anschluss.

Tabelle 15: Zustandsverteilung aller Optimierungsvarianten für Gesamt- und Risikowerte



Die Veränderung der Zustandsverteilung für die Einzelobjekte Brücke, wie in Abbildung 56 und Abbildung 57 dargestellt, zeigt vor allem für die reine Risikooptimierung auch mittlere Zuwächse in der Klasse „schlecht“ und „sehr schlecht“ (für Risiko V in der kurzfristigen Betrachtung und GW in der langfristigen Betrachtung). Wird die Optimierung auch mit dem Gesamtwert kombiniert, ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den Straßenabschnitten mit einem leichten Anstieg in der Klasse „sehr gut & gut“ und einer Reduktion in den Klassen „schlecht“ und „sehr schlecht“.

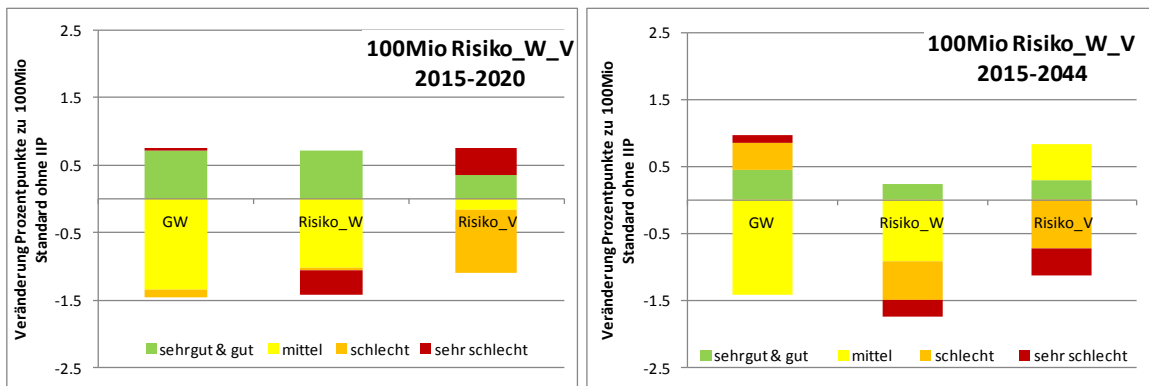


Abbildung 56: Veränderung Zustandsentwicklung Risiko- vs. Standardoptimierung

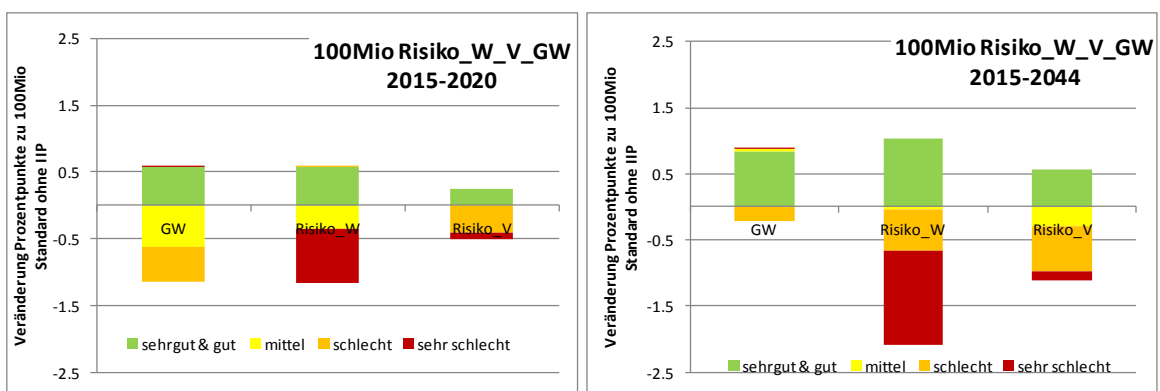


Abbildung 57: Veränderung Zustandsentwicklung Risiko-GW- vs. Standardoptimierung

Für die Brücken kann das mittlere Bauwerksalter als Indikator für die Veränderung des gewählten Instandsetzungszeitpunkts herangezogen werden, wobei die Instandsetzungsintervalle und Eingreifzeitpunkte etwas andere sind als auf den Straßenabschnitten. Die Auswirkung der unterschiedlichen Szenarien ist daher auch erst gegen Ende des Analysezeitraums erkennbar. Abbildung 58 kann man entnehmen, dass eine Risikooptimierung zu einem etwas früheren Instandsetzungszeitpunkt führt und daher das mittlere Brückenalter über lange Sicht etwas geringer ausfällt.

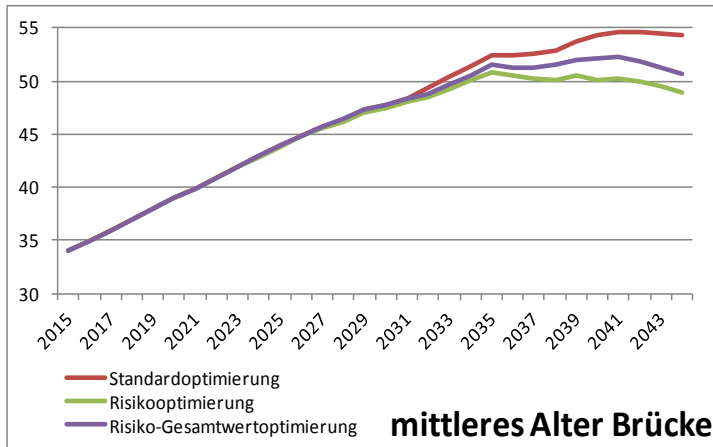


Abbildung 58: Veränderung des Brückenalters

Die Ergebnisse für jedes Brückenobjekt und jede Optimierungsvariante sind als Excel-Tabellen in der unten dargestellten Form verfügbar bzw. in der Datenbank selbst vorhanden und daher in Abbildung 59 nur exemplarisch dargestellt.

RISK_Standard_100+			Cof.W.gesamt								Pof.Klasse								Risk.W					Risk.V				
Brück	From	To	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
AD1_000010	0	34	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4			
AD1_000020	0	53	2	2	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
AD1_000030	0	12	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			
AD1_000040	0	46,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000050	0	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
AD1_000060	0	56	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000070	0	53,2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			

Risikooptimierung 100+			Cof.W.gesamt								Pof.Klasse								Risk.W					Risk.V				
Brück	From	To	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	2016	2017	2018	2019	2020		
AD1_000010	0	34	3	2	2	2	2	2	4	2	2	2	3	3	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000020	0	111	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000030	0	12	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1			
AD1_000040	0	46,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	2	2	2	3	3			
AD1_000050	0	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
AD1_000060	0	56	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000070	0	53,2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			

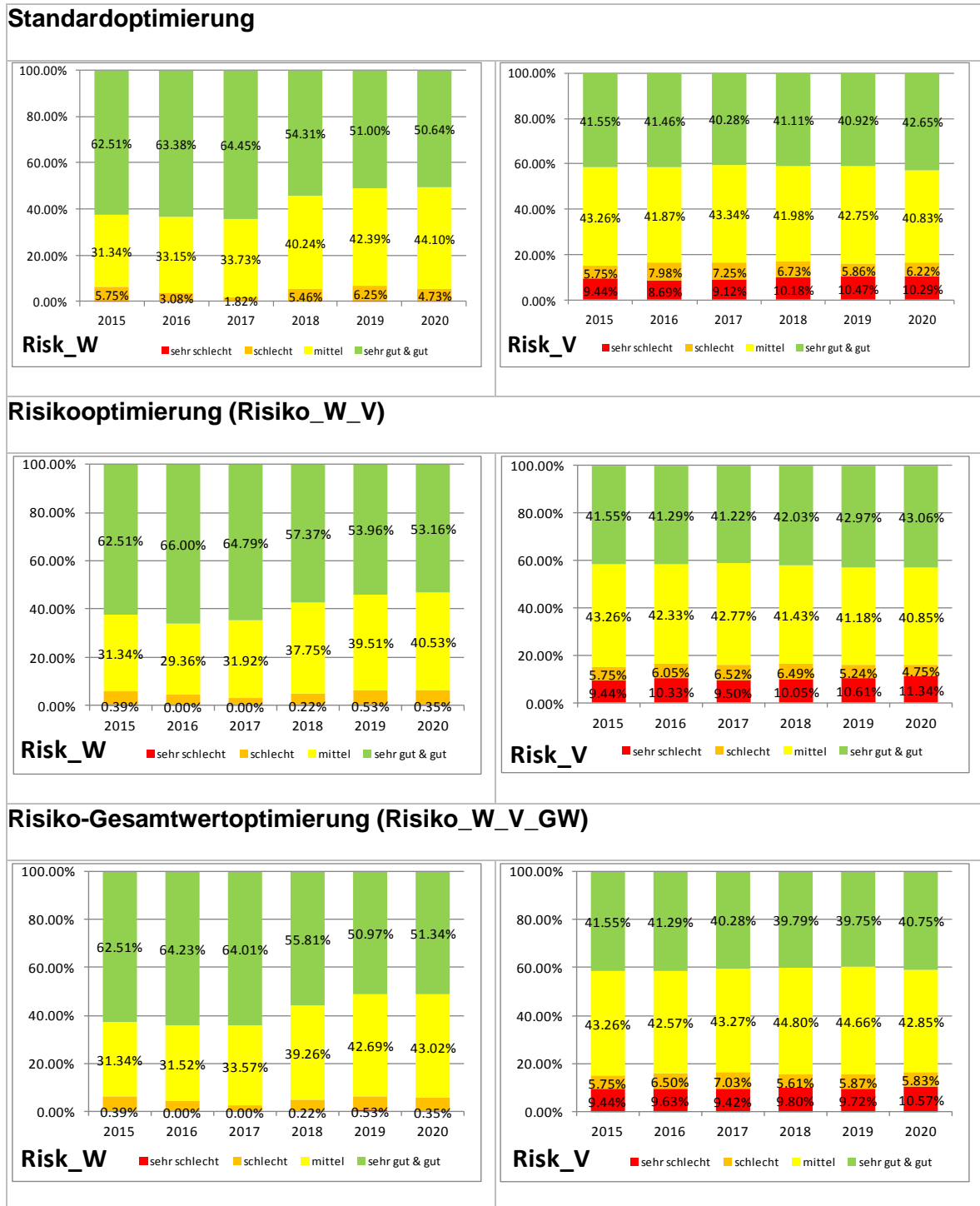
Risiko-Gesamtwertoptimierung			Cof.W.gesamt								Pof.Klasse								Risk.W					Risk.V				
Brück	From	To	15	16	17	18	19	20	15	16	17	18	19	20	15	16	17	18	19	20	15	16	17	18	19	20		
AD1_000010	0	34	3	2	2	2	2	2	4	2	2	2	3	3	4	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000020	0	111	2	2	3	3	3	3	2	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000030	0	12	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1			
AD1_000040	0	46,5	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	2	2	2	3	3			
AD1_000050	0	7	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			
AD1_000060	0	56	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3			
AD1_000070	0	53,2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2			

Abbildung 59: Ergebnisse Einzelobjekt Brücke

3.4.3.4 Brücke – ASFINAG Abschnitt

Entsprechend der Definition in Kapitel 3.4.1.3 wurden die Risikowerte Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit für die längeren ASFINAG-Abschnitte zusammengefasst. So wie in der vorangegangenen Auswertung kann auch hier die Verteilung der Standardoptimierung und die Veränderung dieser Verteilungen aufgrund der Risikooptimierung dargestellt werden (siehe Tabelle 16).

Tabelle 16: Risikoverteilungen ASFINAG-Abschnitte Brücke



Die Veränderung der Zustandsverteilung auf den ASFINAG-Abschnitten für Brücken zeigt für das Wirtschaftlichkeitsrisiko einen Anstieg in der Klasse „sehr gut & gut“ und auch in

der Klasse „schlecht“, bei dem Verfügbarkeitsrisiko allerdings einen leichten Rückgang in der Klasse „schlecht“ (siehe Abbildung 60).

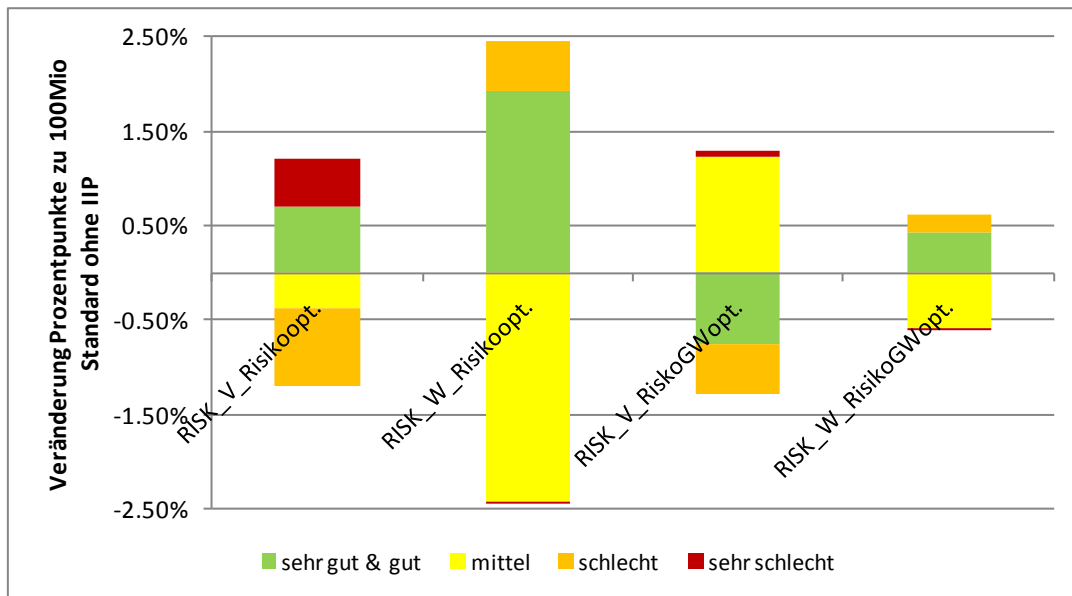


Abbildung 60: Veränderung der Zustandsverteilung in Bezug auf die Standardoptimierung, Brücke

Die Ergebnisse für jeden ASFINAG-Abschnitt und jede Optimierungsvariante sind als Excel-Tabellen in der nachfolgend dargestellten Form bzw. in der Datenbank selbst vorhanden und daher in Abbildung 63 nur exemplarisch dargestellt. Da in der Datenbank auch Geoinformationen vorhanden sind, können die Ergebnisse ebenso auf einer Karte dargestellt werden (Abbildung 61 und Abbildung 62).

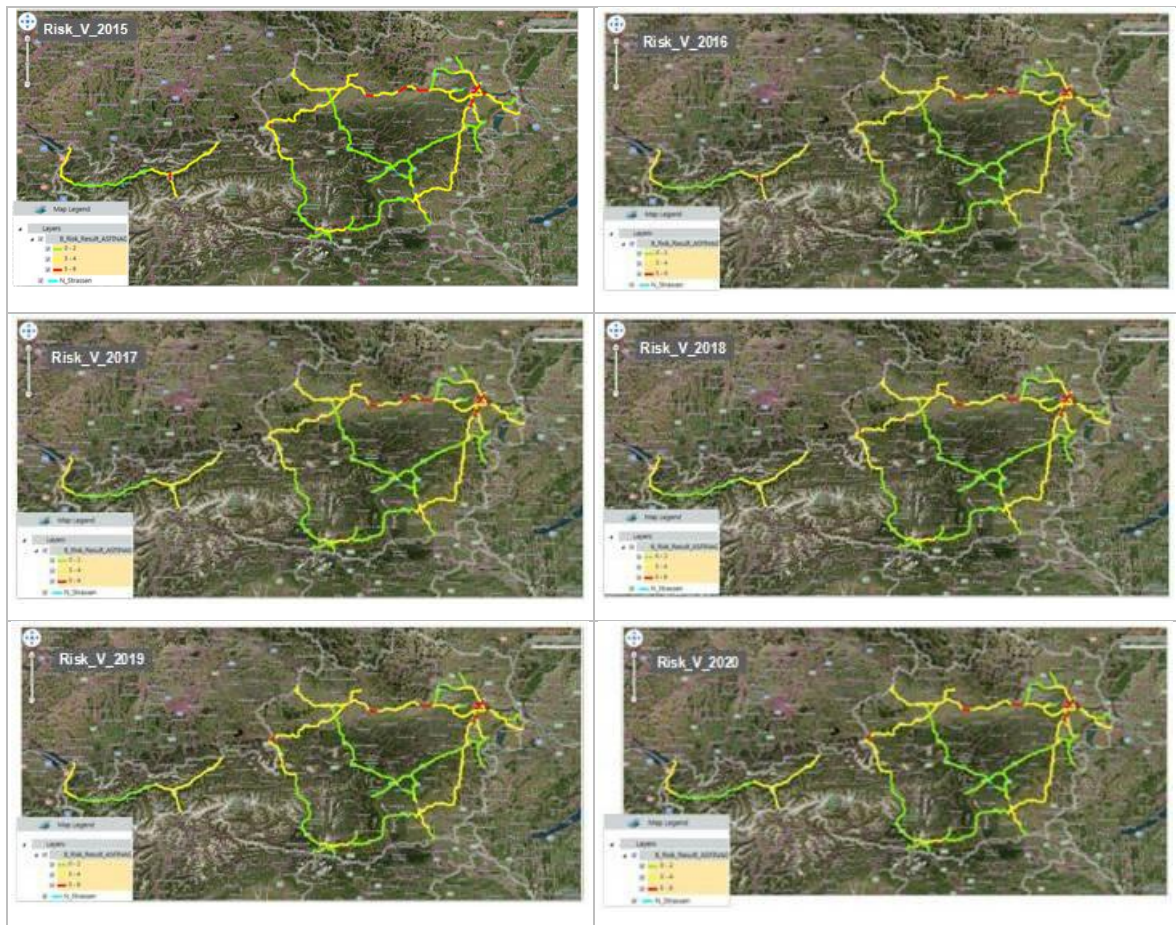


Abbildung 61: Graphische Darstellung Standardoptimierung, Risk_V (2015-2020), Brücke

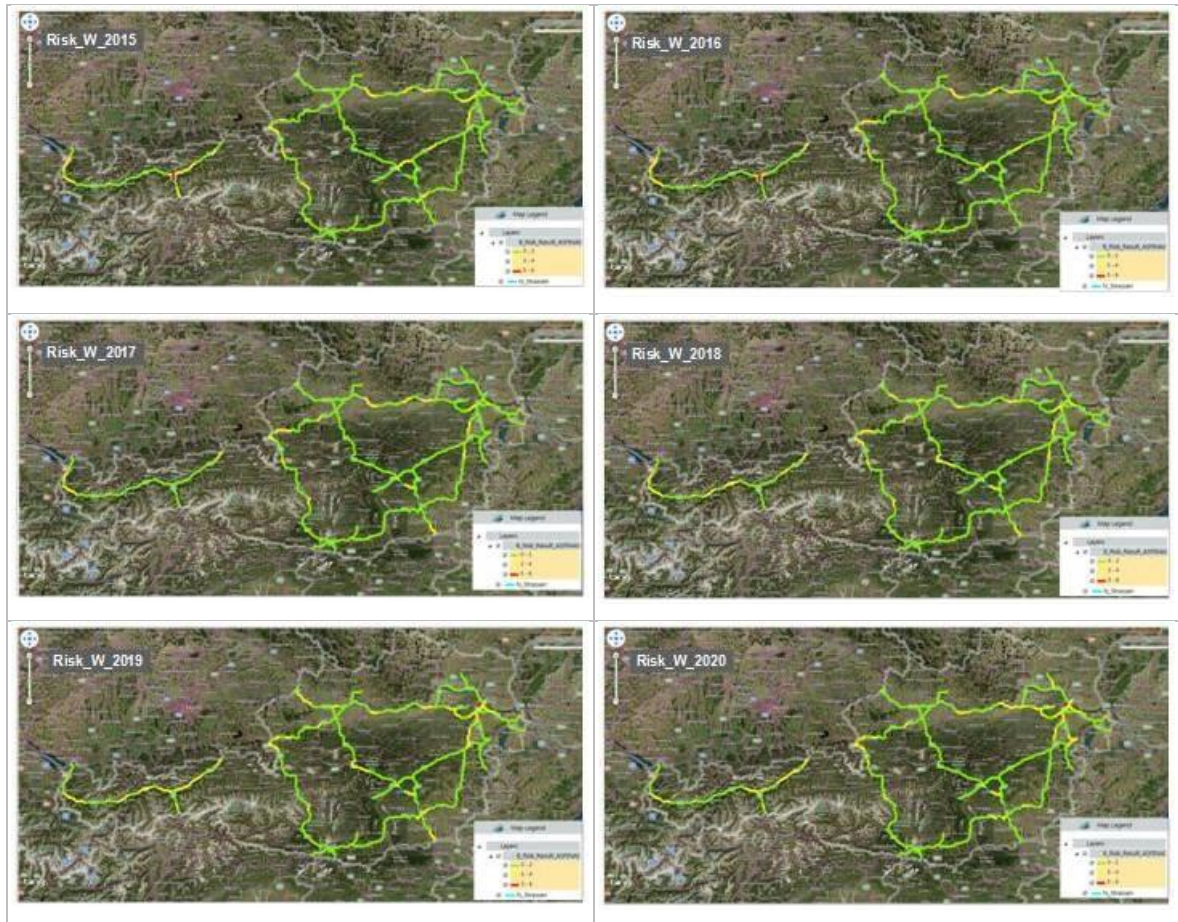


Abbildung 62: Graphische Darstellung Standardoptimierung, Risk_W (2015-2020), Brücke

Standardanalyse_Bruecke_100+			PoF_Klasse										Risk_V										Risk_W														
Road	From	To	ASFINAG	Beschreibung	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5		
A01_1	12.932	23.412	1	Auhof - Pressbaum	1	2.92	2.40	2.40	2.47	2.91	3.40	1.43	0	1.43	0	1.43	0	1.52	0	1.94	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.51	0	2.93	0	3.41	0
A01_1	23.412	30.87	2	Pressbaum - Gschaid	3	2.37	2.05	2.70	2.74	2.79	2.77	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	1.90	0	2.13	0	2.66	0	2.79	1	2.90	1	2.86	1	2.87	0
A01_1	30.87	41.584	3	Steinhäusl - St. Christophen	3	2.62	2.17	2.18	2.18	2.92	2.89	3.06	0	3.06	0	3.09	0	3.11	0	3.11	0	3.09	0	2.24	0	2.27	0	2.30	0	2.28	0	2.91	0	2.87	0	2.87	0
A01_1	41.584	47.949	4	St. Christophen - Böheimkirch	3	2.70	2.15	2.15	2.67	2.91	2.91	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	2.15	0	2.15	0	2.15	0	2.58	0	2.83	0	2.83	0	2.83	0
A01_1	47.949	58.456	5	Böheimkirchen - St. Pölten	3	3.06	2.50	2.34	2.80	2.80	3.10	3.03	0	3.03	0	3.11	0	3.11	0	3.11	0	3.11	0	2.53	0	2.56	0	2.32	0	2.79	0	2.79	0	3.11	0	3.11	0
A01_1	58.456	74.061	6	St. Pölten - Loosdorf	4	3.24	2.81	2.89	3.20	3.35	3.35	4.42	8	4.38	9	4.38	9	4.74	13	4.91	15	4.91	15	2.50	0	2.62	0	2.71	0	3.07	0	3.24	0	3.24	0	3.24	0
A01_1	74.061	86.734	7	Melk - Zelking	4	2.57	1.98	1.79	2.65	2.65	2.74	3.88	3	3.88	3	3.79	2	4.69	15	4.69	15	4.72	16	1.91	0	2.01	0	1.82	0	2.66	0	2.66	0	3.03	0	3.03	0

Risikooptimierung_Bruecke_100+			PoF_Klasse										Risk_V										Risk_W														
Road	From	To	ASFINAG	Beschreibung	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	Rout	
A01_1	12.932	23.412	1	Auhof - Pressbaum	1	2.40	2.40	2.40	2.47	2.91	3.40	1.43	0	1.43	0	1.43	0	1.52	0	1.94	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.51	0	2.93	0	3.41	0
A01_1	23.412	30.87	2	Pressbaum - Gschaid	3	2.05	2.05	2.70	2.74	2.79	2.79	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	1.90	0	2.13	0	2.66	0	2.79	1	2.90	1	2.90	1	2.87	0
A01_1	30.87	41.584	3	Steinhäusl - St. Christophen	3	2.15	2.17	2.18	2.36	3.12	3.12	3.06	0	3.06	0	3.09	0	3.22	0	3.22	0	3.22	0	2.24	0	2.27	0	2.30	0	2.50	0	3.15	0	3.15	0	3.15	0
A01_1	41.584	47.949	4	St. Christophen - Böheimkirch	3	2.15	2.15	2.15	2.67	2.91	2.91	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	2.15	0	2.15	0	2.15	0	2.58	0	2.83	0	2.83	0	2.83	0
A01_1	47.949	58.456	5	Böheimkirchen - St. Pölten	3	2.50	2.50	2.95	3.41	3.41	3.41	3.03	0	3.03	0	3.43	0	3.43	0	3.43	0	3.43	0	2.53	0	2.56	0	2.95	0	3.43	0	3.43	0	3.43	0	3.43	0
A01_1	58.456	74.061	6	St. Pölten - Loosdorf	4	2.57	2.90	3.07	3.38	3.44	3.44	4.42	8	4.48	10	4.48	10	4.84	14	4.91	15	4.91	15	2.50	0	2.72	0	2.91	0	3.26	0	3.34	0	3.34	0	3.34	0
A01_1	74.061	86.734	7	Melk - Zelking	4	1.89	1.98	1.98	2.84	2.84	2.84	3.88	3	3.88	3	3.88	3	4.72	16	4.72	16	4.72	16	1.91	0	2.01	0	2.01	0	2.85	0	2.85	0	3.13	0	3.13	0

Risiko-GW Optimierung_Bruecke_100+			PoF_Klasse										Risk_V										Risk_W														
Road	From	To	ASFINAG	Beschreibung	CoF	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	2015	A5	2016	A5	2017	A5	2018	A5	2019	A5	2020	A5	Rout	
A01_1	12.932	23.412	1	Auhof - Pressbaum	1	2.40	2.40	2.40	2.47	2.89	3.39	1.43	0	1.43	0	1.43	0	1.89	0	1.52	0	2.36	0	2.42	0	2.42	0	2.42	0	2.51	0	2.88	0	3.35	0	3.35	0
A01_1	23.412	30.87	2	Pressbaum - Gschaid	3	2.05	2.05	2.70	2.74	2.79	2.74	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	3.06	0	1.90	0	2.13	0	2.66	0	2.79	1	2.90	1	2.64	0	2.64	0
A01_1	30.87	41.584	3	Steinhäusl - St. Christophen	3	2.15	2.17	2.18	2.16	2.90	2.87	3.06	0	3.06	0	3.09	0	3.08	0	3.08	0	3.06	0	2.24	0	2.27	0	2.30	0	2.21	0	2.85	0	2.80	0	2.80	0
A01_1	41.584	47.949	4	St. Christophen - Böheimkirch	3	2.15	2.15	2.15	2.67	2.91	2.91	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	3.00	0	2.15	0	2.15	0	2.15	0	2.58	0	2.83	0	2.83	0	2.83	0
A01_1	47.949	58.456	5	Böheimkirchen - St. Pölten	3	2.50	2.50	2.34	2.80	2.80	3.10	3.03	0	3.03	0	3.11	0	3.11	0	3.11	0	3.11	0	2.53	0	2.56	0	2.32	0	2.79	0	2.79	0	3.11	0	3.11	0
A01_1	58.456	74.061	6	St. Pölten - Loosdorf	4	2.57	2.90	3.07	3.38	3.44	3.44	4.42	8	4.48	10	4.48	10	4.91	14	4.91	15	4.91	15	2.50	0	2.72	0	2.91	0	3.26	0	3.34	0	3.34	0	3.34	0
A01_1	74.061	86.734	7	Melk - Zelking	4	1.89	1.98	1.79	2.65	2.65	2.74	3.88	3	3.88	3	3.79	2	4.69	15	4.69	15	4.72	16	1.91	0	2.01	0	1.82	0	2.66	0	2.66	0	3.03	0	3.03	0

Abbildung 63: Ergebnisse ASFINAG-Abschnitte, Brücke

3.5 Zusammenfassung Risikoapplikation Straßeninfrastruktur

Für die Brücken und den Straßenoberbau des ASFINAG-Netzes wurden auf Grundlage der vorhandenen Inventar-, Verkehrs- und Zustandsdaten die auftretenden Wirtschaftlichkeits- und Verfügbarkeitsrisiken errechnet. Auf dieser Grundlage kann die derzeitige Risikoverteilung im Netz ausgewiesen werden. Sie bietet aber auch die Möglichkeit die Maßnahmenauswahl risikooptimiert durchzuführen, hierfür wurde die Nutzendefinition im Optimierungskriterium zur Maßnahmenauswahl geändert. Der zustandsbasierte Gesamtwert (Standardvariante) wurde einerseits durch die Summe der Risiken Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit andererseits durch das Produkt der Risiken mit dem Gesamtwert ersetzt. Andere Randbedingungen wie vorhandenes Budget und Analysezeitraum wurden gleich belassen.

Als Ergebnis wurden die Veränderungen der Verteilungen für die Teilwerte Substanzwert und Gebrauchswert im Bereich des Straßenoberbaus, des Gesamtwertes (rechnerischer Gesamtwert) im Bereich der Brücken sowie natürlich für das Risiko Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit für beide Anlagen dargestellt. Auch die Auswirkung des geänderten Maßnahmenvorschlags auf das Deckschichtalter, bzw. das Brückenalter wurde evaluiert.

Die Unterschiede in den einzelnen Optimierungsszenarien sind relativ gering, gegenüber der Standardoptimierung wurden durch die zusätzliche Betrachtung des Risikos nur geringe Veränderungen verursacht. Es kommt zu einer Spreizung des Ergebnisses, größere Anteile in der Klasse „sehr gut & gut“ sowie in der Klasse „sehr schlecht“. Etwas größere Veränderungen gibt es bei der langfristigen Betrachtung, da Maßnahmen durch die Risikooptimierung z.B. zeitlich verschoben werden.

Einen wesentlichen Diskussionspunkt stellt jedoch die Erstellung der Maßnahmenstrategieliste für jeden Straßenabschnitt bzw. jede Brücke dar, die nicht in Abhängigkeit vom Risiko erfolgt, sondern nach den technischen Anwendungsgrenzen, die aufgrund geltender RVS-Grenzwerte festgelegt sind. Erst bei der Auswahl im Rahmen der Optimierung wird das Risiko als Teil der Zielfunktion in den Optimierungsprozess eingerechnet. Ob eine Beeinflussung der Maßnahmenstrategieliste durch das Risiko sinnvoll und zweckmäßig ist, konnte nicht eindeutig geklärt werden und ist eine offene Fragestellung für eine zukünftige Erweiterung der Risikobewertung.

Als mögliche Erweiterungen können angeführt werden:

Im Bereich des Straßen- und Brückenanwendung wurde das vorhandene Budget stets konstant gehalten, mit dem erstellten Algorithmus ist es jedoch genauso möglich die Budgetansätze zu variieren und die entsprechenden Wirkungen darzustellen.

Darüber hinaus wird als Modellerweiterung ein verstärktes Monitoring für Brücken mit schlechtem Zustand (und ev. schlechtem Routing) vorgeschlagen:

- Verkürzung des Inspektionsintervalls bei Brücken mit schlechtem PoD-Wert
- Inspektionsmaßnahmen die CF auf 0,8 reduziert
- Auswertung der Anzahl an Maßnahmen die erforderlich sind (Kosten = 1 je Anwendung)

4 ZUSAMMENFASSUNG RISIKOWORKSHOP

Das Ziel dieses Forschungsprojektes war es, ein auf den Prinzipien des Risikomanagements basierendes Modell zur Optimierung der Erhaltungsstrategien für Verkehrsinfrastruktur zu entwickeln. In Erweiterung zur derzeitigen - rein zustandsbasierten – baulichen Instandhaltungsplanung sollten mit den entwickelten Instrumenten Prognosen der mittelfristig benötigten budgetären Ressourcen auf Grundlage gezielter Risikoanalysen der bestehenden Infrastruktur ausgearbeitet werden. Anhand der entwickelten Risiko-Modelle wurden die Auswirkungen auf die künftige Instandhaltung in Form von Maßnahmenabfolgen und resultierenden Lebenszykluskosten bewertbar gemacht.

Das Risiko des Funktionsverlustes einer Anlage bzw. damit einhergehende Auswirkungen in Form von Erhaltungs-/Reinvestitionsmaßnahmen wurden stets sowohl auf Anlagenebene als auch auf Netzebene bewertet und in den Entscheidungsprozess integriert.

Das Modell wurde im Rahmen des vorliegenden Projekts entwickelt, in eine Asset Management Software implementiert und anhand von Pilotprojekten für Straßen- und Schieneninfrastruktur getestet.

Zu Projektende fand zusätzlich zur letzten Projektbesprechung mit den Infrastrukturbetreibern ASFINAG und ÖBB ein gesonderter Workshop statt, bei dem die Ergebnisse für Straße und Schiene präsentiert wurden. Dabei wurden die Ausgestaltung der auf einer weitgehend gleichen (und gemeinsam entwickelten) methodischen Grundlage des 1. Projektjahres aufbauenden und im 2. Projektjahr parallel spezifizierten Risiko LCM-Systeme „Straßeninfrastruktur“ bzw. „Schieneninfrastruktur“ anhand jeweils eigenständiger Demo-Projekte präsentiert und diskutiert.

Zusammengefasst zeigte sich:

- Die Ergebnisse zeigen den wesentlichen strategischen Nutzen bzw. den Mehrwert im Rahmen der mittel- und langfristigen Erhaltungsplanung. Infrastruktur-Betreiber erlangen im Rahmen der Nutzung des entwickelten, um den Risiko-Ansatz erweiterten Tools Sicherheit bei der Neubewertung der Allokation der verfügbaren Budgetmittel für die zu erhaltende Infrastruktur.
- Problemfälle können vorzeitig erkannt und im Rahmen einer Priorisierung innerhalb der untersuchten Assetklasse gereiht werden. Anmerkung: Mit den bisherigen Möglichkeiten des Asset Managements würden im Falle des Zulassens von unge-

hinderter, weiterer Degradation hohe und vorzeitige direkte LCC (Reinvestitionen) und/oder hohe indirekte LCC (infolge eingeschränkter Verfügbarkeit der Strecke) in Kauf genommen.

- Das Erhaltungsbudget wird zunächst gezielt für jene Anlagen/Bereiche mit unzulässig hohem Risiko vergeben. Über das verbleibende Budget wird in weiterer Folge auf einer abgesicherten Zuverlässigkeits-Basis entschieden.
- Die Risiko-basierte Erhaltungsplanung kann zu Beginn des betrachteten Erhaltungszeitraums zu einem erhöhtem Investitionsbedarf führen, während sich die Ausgaben in weiterer Folge stark relativieren, wodurch unter Umständen sogar Einsparungen lukriert werden können.

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE (2009): "API 580 – Risk-Based Inspection", Washington D.C.
- [2] WIKIPEDIA – Die freie Enzyklopädie: http://de.wikipedia.org/wiki/Risiko#Ingenieur-und_Umweltwissenschaften, Abfragedatum: 08.01.2015
- [3] PREISS, R. (2005): „Methoden der Risikoanalyse in der Technik: Systematische Analyse komplexer Systeme“, TÜV AUSTRIA Akademie GmbH, Wien.
- [4] ÖBB-Holding AG: „Chancen- und Risikomanagement-Handbuch des ÖBB-Konzerns“, Version V2.7 – Stand September 2015
- [5] VEIT-EGERER R., WIDMANN M., WENINGER-VYCUDIL A., ACHS G., „EINSTEIN – Risikobasiertes Entscheidungsmodell zur Ermittlung des optimalen Instandsetzungszeitpunktes von Infrastrukturbauten“, Deliverable D2.1 (Bericht zur Datengrundlage, Datenanalyse und Adaptierung des Alterungs-modells für Straße, Schiene und Ingenieurbauwerke), FFG-VIF2013 Research Project (Project Nr. 845695), Jänner 2016, Wien.
- [6] CWA 16633: Ageing Behaviour of Structural Components with regard to Integrated Lifetime Assessment and subsequent Asset Management of Constructed Facilities, CEN Workshop Agreement (TC), ON Secretariat, Mai 2013
- [7] Büro ARGE FCP-Stempkowski: „Gewerkübergreifende Streckenzustandsanalyse und Life Cycle Management Strecke Bruck/Mur – Graz“; unveröffentlichter Projektbericht, Wien 2014
- [8] STEFAN C.; RAJEK J.; VEIT-EGERER R., WIDMANN M., WENINGER-VYCUDIL A., ACHS G., „EINSTEIN – Risikobasiertes Entscheidungsmodell zur Ermittlung des optimalen Instandsetzungszeitpunktes von Infrastrukturbauten“, Deliverable D3.1 (Test risikobasierter Entscheidungsverfahren im Instandhaltungsmanagement), FFG-VIF2013 Research Project (Project Nr. 845695), Oktober 2015, Wien.
- [9] Weninger-Vycudil A., Simanek P., Rohringer T. und Haberl J.: Handbuch Pavement Management in Österreich 2009. Straßenforschung im Auftrag der ASFiNAG und des BMVIT, Heft 584, Wien 2010
- [10] Weninger-Vycudil A., Antoni C., Stachelberger T.: IMT Brücken, Systemkonfiguration Brücken. Dokumentation, Pilotprojekt IMT Brücken im Auftrag der ASFiNAG, Wien 2016 (unveröffentlicht)

ANHANG A

- Einflussparameter für die Berechnung des Risikos Straßenoberbau und Brücken

Name	Desc	The Expression
P_LCCA_dN_RISK_CoF_V	Risikoklasse Verfügbarkeit, je RFB	IF(P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr <= 13050.0 AND P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr <= 930.0), 1.0, IF(P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr <= 13050.0 AND P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr <= 3250.0), 2.0, IF(P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr > 13050.0 AND P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr <= 42500.0 AND P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr > 3250.0 AND P_LCCA_hom->RISK_Routing = 2.0), 4.0, IF(P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr > 42500.0 AND P_LCCA_hom->VK_JDTV_akt_Jahr > 3250.0 AND P_LCCA_hom->RISK_Routing > 1.0), 5.0, 3.0))))
P_LCCA_dN_RISK_CoF_W_gesamt	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit, je RFB	IF(P_LCCA_hom->RISK_RW_gesamt/P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt)<0.25.0, IF(P_LCCA_hom->RISK_RW_gesamt/P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt)<0.4.4.0, IF(P_LCCA_hom->RISK_RW_gesamt/P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt)<0.6.3.0, IF(P_LCCA_hom->RISK_RW_gesamt/P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt)<0.8.2.0.1.0))))
P_LCCA_dN_RISK_NK_gesamt	Neubaukosten	(P_LCCA_hom->GEO_Flaeche_HFS+P_LCCA_hom->GEO_Flaeche_NFS)*110.0
P_LCCA_dN_RISK_PoD_GI	Risiko Zustand Gebrauch HFS	MAX(0.0, MIN(1.0, 0.225*P_LCCA_hom->ZU_ZW_GI_HFS - 0.125))
P_LCCA_dN_RISK_PoD_HFS	Risiko Zustand Hauptfahrstreifen	MAX(P_LCCA_hom->RISK_PoD_GI_HFS, P_LCCA_hom->RISK_PoD_SI_HFS) + 0.2*MIN(P_LCCA_hom->RISK_PoD_GI_HFS, P_LCCA_hom->RISK_PoD_SI_HFS)
P_LCCA_dN_RISK_PoD_SI	Risiko Zustand Substanz HFS	MAX(0.0, MIN(1.0, 0.0224*EXP(0.7536*P_LCCA_hom->ZU_ZW_SI_HFS)))
P_LCCA_dN_RISK_PoF_Klasse_HFS	Risikoklasse Zustand HFS	IF(P_LCCA_hom->RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) < 0.2, 1.0, IF(P_LCCA_hom->RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) < 0.4, 2.0, IF(P_LCCA_hom->RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) < 0.6, 3.0, IF(P_LCCA_hom->RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) < 0.8, 4.0, 5.0))))
P_LCCA_dN_RISK_RW_gesamt	Restwert (min HFS und NFS)	P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt*(1.25-0.25*(MAX(P_LCCA_hom->ZU_ZW_SI_HFS, P_LCCA_hom->ZU_ZW_SI_NFS)))
B_LCCA_dN_RISK_CoF_W	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	IF(B_LCCA->RISK_NK_gesamt/0.0.0.0, IF(B_LCCA->RISK_RW_gesamt/B_LCCA->RISK_NK_gesamt)<0.25.0, IF(B_LCCA->RISK_RW_gesamt/B_LCCA->RISK_NK_gesamt)<0.4.4.0, IF(B_LCCA->RISK_RW_gesamt/B_LCCA->RISK_NK_gesamt)<0.6.3.0, IF(B_LCCA->RISK_RW_gesamt/B_LCCA->RISK_NK_gesamt)<0.8.2.0.1.0))))
B_LCCA_dN_RISK_NK_gesamt	Neubaukosten	(B_LCCA->INV_Flaeche*MAX(2000.0, MIN(5500.0, (17.5*B_LCCA->INV_L_max+1383.33))))
B_LCCA_dN_RISK_PoD_GW	PoD Gesamtwert	MIN(1.0, MAX(0.0, 0.25*B_LCCA->ZU_Gesamtwert-0.25*MAX(0.2, MIN(0.2, 0.0057143*B_LCCA->ALT_Aller_aktuell-0.2571429))))
B_LCCA_dN_RISK_PoF_Klasse	Risikoklasse Zustand	IF((B_LCCA->RISK_PoD_GW*B_LCCA->RISK_CF)<0.2, 1.0, IF((B_LCCA->RISK_PoD_GW*B_LCCA->RISK_CF)<0.4, 2.0, IF((B_LCCA->RISK_PoD_GW*B_LCCA->RISK_CF)<0.6, 3.0, IF((B_LCCA->RISK_PoD_GW*B_LCCA->RISK_CF)<0.8, 4.0, 5.0))))
B_LCCA_dN_RISK_RW_gesamt	Restwert	(B_LCCA->INV_Flaeche*MAX(2000.0, MIN(5500.0, (17.5*B_LCCA->INV_L_max+1383.33))))*(1.25-0.25*B_LCCA->ZU_Gesamtwert)

Name	Desc	Spaltenattribut	Reihenattribut	Ergebnisattribut
P_Risiko_Verueqbarkeit	CrossTabTransformation-Risikomatrix	P_LCCA_hom->RISK_CoF_V	P_LCCA_hom->RISK_PoF_Klasse_HFS	P_LCCA_hom->RISK_V_HFS
P_Risiko_Wirtschaftlichkeit	CrossTabTransformation-Risikomatrix	P_LCCA_hom->RISK_CoF_W_gesamt	P_LCCA_hom->RISK_PoF_Klasse_HFS	P_LCCA_hom->RISK_W_HFS
B_Risiko_Verueqbarkeit	CrossTabTransformation-Risikomatrix	B_LCCA->RISK_CoF_V	B_LCCA->RISK_PoF_Klasse	B_LCCA->RISK_V
B_Risiko_Wirtschaftlichkeit	CrossTabTransformation-Risikomatrix	B_LCCA->RISK_CoF_W_gesamt	B_LCCA->RISK_PoF_Klasse	B_LCCA->RISK_W

- Jährliche Analysevariablen und Analyseausrücke:

Analysevariable	Desc	Type	Slope	PropAtt	InitFrom
P_JAV_RISK_CoF_W_gesamt	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_CoF_W_gesamt	P_LCCA_hom->RISK_CoF_W_gesamt
P_JAV_RISK_CoF_W_gesamt_Quotient	Wirtschaftlichkeitsquotient	Annual	Down	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN
P_JAV_RISK_PoD_GI	Risiko Zustand Gebrauch	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_PoD_GI_HFS	P_LCCA_hom->RISK_PoD_GI_HFS
P_JAV_RISK_PoD_HFS	Risiko Zustand HFS	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_PoD_HFS	P_LCCA_hom->RISK_PoD_HFS
P_JAV_RISK_PoD_SI	Risiko Zustand Substanz	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_PoD_SI_HFS	P_LCCA_hom->RISK_PoD_SI_HFS
P_JAV_RISK_PoF_Klasse_HFS	Risikoklasse Zustand	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_PoF_Klasse_HFS	P_LCCA_hom->RISK_PoF_Klasse_HFS
P_JAV_RISK_RW_gesamt	Restwert HFS	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_RW_gesamt	P_LCCA_hom->RISK_RW_gesamt
P_JAV_RISK_V_HFS	Risiko Verfügbarkeit	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_V_HFS	P_LCCA_hom->RISK_V_HFS
P_JAV_RISK_W_HFS	Wirtschaftlichkeitsrisiko HFS	Annual	Up	P_LCCA_hom->RISK_W_HFS	P_LCCA_hom->RISK_W_HFS
P_JAV_RISK_W_V	Summe Risiko W und V	Annual	Up	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN
P_JAV_RISK_W_V_GW	Summe Risiko W und V * GW	Annual	Up	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN
P_KAV_Nutzen_RISK	Barwert Nutzen	Compilation	Up	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN	
P_KAV_Nutzen_RISK_GW	Barwert Nutzen	Compilation	Up	P_LCCA_hom->INT_Variable_KN	
B_JAV_RISK_CoF_W	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	Annual	Up	B_LCCA->RISK_CoF_W_gesamt	B_LCCA->RISK_CoF_W_gesamt
B_JAV_RISK_CoF_W_Quotient	Wirtschaftlichkeitsquotient	Annual	Down	B_LCCA->INT_Nummer	B_LCCA->INT_Nummer
B_JAV_RISK_PoD	Risiko Zustand	Annual	Up	B_LCCA->RISK_PoD_GW	B_LCCA->RISK_PoD_GW
B_JAV_RISK_PoF_Klasse	Risikoklasse Zustand	Annual	Up	B_LCCA->RISK_PoF_Klasse	B_LCCA->RISK_PoF_Klasse
B_JAV_RISK_RW	Restwert	Annual	Up	B_LCCA->RISK_RW_gesamt	B_LCCA->RISK_RW_gesamt
B_JAV_RISK_V	Risikoklasse Verfügbarkeit	Annual	Up	B_LCCA->RISK_V	B_LCCA->RISK_V
B_JAV_RISK_W	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	Annual	Up	B_LCCA->RISK_W	B_LCCA->RISK_W
B_JAV_RISK_W_V	Summe Risikoklasse Wirtschaftlichkeit + Verfügbarkeit	Annual	Up	B_LCCA->INT_Nummer	B_LCCA->INT_Nummer
B_JAV_RISK_W_V_GW	(Summe Risikoklasse Wirtschaftlichkeit + Verfügbarkeit)*GW	Annual	Up	B_LCCA->INT_Nummer	B_LCCA->INT_Nummer
B_KAV_Nutzen_RISK_W_V	Barwert Nutzen (Summe Risikoklasse Wirtschaftlichkeit+Verfügbarkeit)	Compilation	Up	B_LCCA->INT_KostenNutzen	B_LCCA->INT_KostenNutzen
B_KAV_Nutzen_RISK_W_V_GW	Barwert Nutzen (Summe Risikoklasse Wirtschaftlichkeit+Verfügbarkeit)*GW	Compilation	Up	B_LCCA->INT_KostenNutzen	B_LCCA->INT_KostenNutzen

Name	Desc	TheExpression
P_JAV_aN_RISK_CoF_W_gesamt	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	IF(P_JAV_RISK_CoF_W_gesamt_Quotient<0.2,5.0, IF(P_JAV_RISK_CoF_W_gesamt_Quotient<0.4,4.0, IF(P_JAV_RISK_CoF_W_gesamt_Quotient<0.6,3.0, IF(P_JAV_RISK_CoF_W_gesamt_Quotient<0.8,2.0,1.0))))
P_JAV_aN_RISK_CoF_W_gesamt_Quotient	Wirtschaftlichkeitsquotient	(P_JAV_RISK_RW_gesamt+GST_COST_F)/P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt
P_JAV_aN_RISK_PoD_GI	Risiko Zustand Gebrauch HFS	MAX(0.0, MIN(1.0, 0.225*P_JAV_ZU_ZW_GI_HFS - 0.125))
P_JAV_aN_RISK_PoD_HFS	Risiko Zustand Hauptfahstreifen	MAX(P_JAV_RISK_PoD_GI,P_JAV_RISK_PoD_SI)+0.2*MIN(P_JAV_RISK_PoD_GI, P_JAV_RISK_PoD_SI)
P_JAV_aN_RISK_PoD_SI	Risiko Zustand Substanz HFS	MAX(0.0, MIN(1.0, (0.0224*EXP(0.7536*P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS))))
P_JAV_aN_RISK_PoF_Klasse_HFS	Risikoklasse Zustand HFS	IF((P_JAV_RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) <0.2, 1.0, IF((P_JAV_RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) <0.4, 2.0, IF((P_JAV_RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) <0.6, 3.0, IF((P_JAV_RISK_PoD_HFS * P_LCCA_hom->RISK_CF) <0.8, 4.0, 5.0))))))
P_JAV_aN_RISK_RW_gesamt	Restwert	P_LCCA_hom->RISK_NK_gesamt*(1.25- 0.25*(MAX(P_JAV_ZU_ZW_SI_HFS,P_JAV_ZU_ZW_SI_NFS)))
P_JAV_aN_RISK_V_HFS	Risiko Verfügbarkeit HFS	XTAB(P_Risiko_Veruegbarkeit,P_JAV_RISK_PoF_Klasse_HFS,P_LCCA_hom-> RISK_CoF_V,(-1.0))
P_JAV_aN_RISK_W_HFS	Risiko Wirtschaftlichkeit HFS	XTAB(P_Risiko_Veruegbarkeit,P_JAV_RISK_PoF_Klasse_HFS,P_JAV_RISK_CoF_W_gesa mt,(-1.0))
P_JAV_aN_RISK_W_V_HFS	Summe Risk Wirtschaftlichkeit + Verfügbarkeit	P_JAV_RISK_V_HFS+P_JAV_RISK_W_HFS
P_JAV_aN_RISK_W_V_HFS_GW_gesamt	Summe Risk (Wirtschaftlichkeit+Verfügbarkeit)*Zustand_GW	P_JAV_ZU_ZW_GW_gesamt*(P_JAV_RISK_V_HFS+P_JAV_RISK_W_HFS)
P_KAV_aN_Nutzen_RISK_W_V	Barwert Nutzen des Risikos	GET4CAV_PVDIFF(P_JAV_RISK_W_V,10,P_JAV_VK_JDTV,1)*P_LCCA_hom->Length
P_KAV_aN_Nutzen_RISK_W_V_GW	Barwert Nutzen des Risikos	GET4CAV_PVDIFF(P_JAV_RISK_W_V_GW,50,P_JAV_VK_JDTV,1)*P_LCCA_hom->Length
B_JAV_aN_RISK_CoF_W	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	IF(B_JAV_RISK_CoF_W_Quotient<0.2,5.0, IF(B_JAV_RISK_CoF_W_Quotient<0.4,4.0, IF(B_JAV_RISK_CoF_W_Quotient<0.6,3.0, IF(B_JAV_RISK_CoF_W_Quotient<0.8,2.0,1.0))))
B_JAV_aN_RISK_CoF_W_Quotient	Wirtschaftlichkeitsquotient	(B_JAV_RISK_RW+GST_COST_F)/B_LCCA->RISK_NK_gesamt
B_JAV_aN_RISK_PoD	Risiko Zustand+Alter	MIN(1.0,MAX(0.0,0.25*B_JAV_ZU_Gesamtwert-0.25+MAX(- 0.2,MIN(0.2,0.0057143*B_JAV_ALT_Alter_Bauwerk - 0.2571429))))
B_JAV_aN_RISK_PoF_Klasse	Risikoklasse Zustand	IF((B_JAV_RISK_PoD*B_LCCA->RISK_CF)<0.2,1.0, IF((B_JAV_RISK_PoD*B_LCCA->RISK_CF)<0.4,2.0, IF((B_JAV_RISK_PoD*B_LCCA->RISK_CF)<0.6,3.0, IF((B_JAV_RISK_PoD*B_LCCA->RISK_CF)<0.8,4.0,5.0))))
B_JAV_aN_RISK_RW	Restwert	B_MN_aN_KST_NB*(1.25-0.25*B_JAV_ZU_Gesamtwert)
B_JAV_aN_RISK_V	Risikoklasse Verfügbarkeit	XTAB(B_Risiko_Veruegbarkeit,B_JAV_RISK_PoF_Klasse,B_LCCA->RISK_CoF_V,(-1.0))
B_JAV_aN_RISK_W	Risikoklasse Wirtschaftlichkeit	XTAB(B_Risiko_Wirtschaftlichkeit,B_JAV_RISK_PoF_Klasse,B_JAV_RISK_CoF_W,(-1.0))
B_JAV_aN_RISK_W_V	Summe Risk Wirtschaftlichkeit + Verfügbarkeit	(B_JAV_RISK_V+B_JAV_RISK_W)
B_JAV_aN_RISK_W_V_GW	Summe Risk (Wirtschaftlichkeit+Verfügbarkeit)*Zustand_GW	(B_JAV_RISK_V+B_JAV_RISK_W)*B_JAV_ZU_Gesamtwert
B_KAV_aN_RISK_W_V	Barwert Nutzen des Risikos	GET4CAV_PVDIFF(B_JAV_RISK_W_V,10,B_JAV_VK_Bedeutung,1)*B_LCCA_Length
B_KAV_aN_RISK_W_V_GW	Barwert Nutzen des Risikos	GET4CAV_PVDIFF(B_JAV_RISK_W_V_GW,50,B_JAV_VK_Bedeutung,1)*B_LCCA_Length