



LCE Prognosemodelle. Tool für langfristige Instandhaltungsplanung

Simon Wallner . Wiener Linien | Robert Veit-Egerer . VCE

**I) VORGESCHICHTE / LCE MODELLE & TOOLENTWICKLUNG /
PORTFOLIOSIMULATIONEN BRÜCKENGESAMTNETZ WIENER
LINIEN & REFERENZERGEBNISSE**

(R.Veit-Egerer VCE)

**II) TOOLIMPLEMENTIERUNG IN DIE DB LANDSCHAFT DER
WIENER LINIEN & WEITERENTWICKLUNG / DEMONSTRATION**

(Simon Wallner Wiener Linien)

- ▶ Paradigmenwechsel von reaktiver zu zustandsbasierter, präventiver Erhaltungsstrategie für Brücken
- ▶ Instandhaltungsbudget beruht aktuell auf Prognose, basierend auf vergangen Ausgaben
- ▶ Kosten größerer Instandhaltungsmaßnahmen und Reinvestitionen unzureichend berücksichtigt → Kostenerhöhung im mittelfristigen bis langfristigen Zeitraum wahrscheinlich
- ▶ Unterstützung der verantwortlichen Personen durch optimierte Ressourcenplanung

ZIELE:

- ▶ Der tatsächliche mittel- und langfristige Finanzmittelbedarfs für tiefgreifende Instandsetzungen und Reinvestitionen bei Simulation unterschiedlicher Instandhaltungsstrategien wird sichtbar
- ▶ Ressourcen-intensive Zeitfenster werden herausgearbeitet
- ▶ Sicherstellung des tatsächlichen Lukrierens der geplanten Nutzungsdauer der Brücken (Nachhaltigkeit)

Life Cycle Costs (LCC)

Life Cycle Management (LCM)

Life Cycle Analysis (LCA)

Maßnahmenorientierte LC-Kostenmodellierung FCP/ÖBB eingearbeitet in RVS 13.05.11

Einzeltragwerk Varianten-Studien (exemplarisch)

- Brücke Zentralverschiebebahnhof Wien
- Kugelsteinbrücke
- Pass Lueg
- Meidlinger Einschnitt

Evaluierung LCC- Modelle (Großbrücken)

5 Bauvorhaben (15 Brücken)
(Standardisierte Benchmarks für unterschiedliche Projektphasen)

Modellierung indirekte LCC (BEK)

- Standardhilfsbrücke SFH- 265
- Hilfsbrückentyp BB18 (HHB-265)

Strecken LCM

Betrachtung der Gewerke KI, UB ET

- Eisenbahnstrecke Bruck/ Mur - Graz (Erhaltungskonzept Zielnetz 2025+)
- Eisenbahnstrecke Linz – Wels (Erhaltungskonzept Stilllegung)
- Nordbahnstrecke (Erhaltungskonzept Zielnetz 2025+)

LCM Projektbewertung

8 Brückenobjekte im Bestand
(IH-Variantenanalyse & LCM basierte Prognosen des voraussichtlichen Reinvestitionszeitpunktes)

Degradationsmodellierung für die wesentlichsten Brückentypen im ÖBB Bestandsnetz

Degradationsmodelle aufgenommen in CEN bzw. EN

CEN/ WS 063/ CWA 16633:2013
„Ageing behaviour of Structural Components“

LCE Analyse Ko- Schutz

Resttragfähigkeit/ Zuverlässigkeit und Restnutzungsdauer als Grundlage für zukünftige IH-Strategie Ko-Schutz

Risiko LCM (VIF EISTEIN)

Wahrscheinlichkeit Funktionsverlust d. Anlagen => Konsequenz Kosten/ Verfügbarkeit

Überarbeitung Degradationsmodelle FCP

Bisheriger Abdeckungsgrad im Bestandsnetz ÖBB rund **93 %**

LCE Brückenanalyse 1000 ausgewählter Brücken aus dem Bestandsnetz der SBB anhand der LC-Modelle ÖBB/FCP in Form von 3 standardisierten Erhaltungsstrategien (DACH Arbeitsgruppe): Vereinfachte LCC Projektion/ „Rechtzeitige Instandsetzung“/ „Verschleißsen lassen“

Beschleunigte STRECKEN-LCE Prognose des kurz- mittel- und langfristigen Instandhaltungs- und Reinvestitions-Bedarfs von Brückenbauwerken auf 3 ausgewählten Strecken der ÖBB unter Berücksichtigung unterschiedlicher Erhaltungsstrategien betroffene Strecken Nordbahn, Pyhrnbahn und Südbahn

2013

2014

2015

2016

2017

Life Cycle Costs (LCC)

Life Cycle Management (LCM)

Life Cycle Analysis (LCA)

2018

Variantenuntersuchung potentieller Ablösekosten zwischen ÖBB & MA29 im Bereich des Meidlinger Einschnitts

FCP

Gesamtnetzanalyse : 500 Brückentragwerke (inkl. Denkmalschutz)
 Ausarbeitung von LCE Prognosen für den kurz- und mittelfristigen Instandhaltungs- und Reinvestitions-Bedarfs sämtlicher Brückentragwerke im Bestand der Wiener Linien unter Berücksichtigung unterschiedlicher Instandhaltungsstrategien

2019

unter Berücksichtigung unterschiedlicher Instandhaltungsszenarien nach RVS 13.05.21

FCP

Gesamtnetzanalyse : 10 000 Tragwerke
 Ausarbeitung von LCE Prognosen für den kurz- und mittelfristigen Instandhaltungs- und Reinvestitions-Bedarfs sämtlicher Brückentragwerke im Bestandsnetz der ÖBB Infrastruktur AG

Evaluierung Standarderhaltungspläne (STEPS) im ÖBB Streckennetz

Ermittlung eines übergeordneten **LCM-Brücken-Kostenmodelles** auf Element- und Normanlagenbasis (Benchmarks für die Beurteilung des gewichteten Streckenkilometers)

2020

- Rad- und Fußwegquerung „Belghofer Steg“
- Fußgängersteg „Grießer Steg“

FCP

Weiterentwicklung Predictive Maintenance LCE Tool anhand 2er Simulationsaufgaben:

- Maßnahmenherleitung und –priorisierung für einen vorgegebenen Finanzrahmen (**Optimierungsaufgabe**)
- Simulation der Konsequenz, wenn infolge Budgetvorgaben gezielt Maßnahmen nicht oder verzögert realisiert werden (**Backlog Analyse**)

2021

Eisenbahnbrücke „Buchser Rheinbrücke“

Berechnung Lebenszykluskosten in Form einer Variantenuntersuchung: Bestandssanierung (Stahlfachwerk) vs. potentielle Reinvestition (Stahlbogen)

LCM-KI BRÜCKEN Prognose-Modell FCP/ÖBB

ANLAGEN-GLIEDERUNG (BRÜCKEN-GEOMETRIE / MATERIAL)

Vorschlag **FCP** aus einem Datenbank-
Gesamtauszug iBauwerke **2015**

**ÖBB Skriptum Bautechnischer Kurs -
Brückenbau und konstruktiver Ingenieurbau
(Kap. 12) 2009 - 4. Auflage**

Vorschlag **FCP/ÖBB** aus gemeinsamer
Projekthistorie **2013-2018**

**ÖBB Fachbereich Bautechnik – Brücken
(10/2018) „TW Längen vs. Stützweiten“
& Abgrenzung zwischen Massiv-, Gewölbe-, und
Stahlbrücken**

DEGRADATIONSMODELLE (ZUSTANDSKLASSEN => ALTERUNGSPROGNOSEN + MASSNAHMENABLEITUNG)

FCP/VCE: CEN/WS 063/ CWA 16633: 2013
“ Ageing behaviour of Structural Components“
=> Wurde als ANNEX in die
DIN EN 16991-1:2016 „Risiko basierte Inspektion“
(CEN/TC 319 „Instandhaltung“) aufgenommen.

**RVS 13.05.11 „Lebenszykluskostenermittlung von
Brücken“ (03/2017)**
(Maßnahmenorientierte IH-Strategie)

*„DACH Positionspapier – zu einer gemeinsamen
Position von DB/SBB/ÖBB für ein Life Cycle
Prognosemodell von Eisenbahnbrücken“ 2018*

KOSTENMODELLE (BENCHMARKS IN FORM VON IS BZW. RI- KOSTEN/BRÜCKENFLÄCHE)

Vorschlag **FCP/ÖBB** aus gemeinsamer
Projekthistorie **2013-2018**
(**RI, IS- Kosten**)

**RVS 13.05.11 „Lebenszykluskostenermittlung von
Brücken“ (03/2017)**
(**Instandhaltungs-, Elementkosten**)

ÖBB Netzzustandsberichte 2012-2017
(**nur RI-Kosten**)

**Durchschnittliche, jährliche Inspektionskosten
aus Begutachtung und Untersuchung, gewichtet
nach ÖBB EB-Brückenflächen (08/2018)**

**ÖBB Fachbereich Bautechnik – Brücken
(10/2018)**

Annahmen der Simulationen

- Optimale Instandhaltung:
 - Lebensdauer Eisenbahnbrücke 120 a
 - Gewölbebrücke 150 a
 - bei Denkmalschutz verdoppelt,
 - alle 30 Jahre eine Instandsetzungsmaßnahme lt. RVS 13.05.11
- Reinvestition am Ende der Lebensdauer
- Simulationsszenarien Betrachtungszeitraum 50 a

- Das LCE Tool simuliert statistische Entwicklung des Gesamtportfolios und ist nicht direkt auf Einzelobjekte anwendbar (Outlier werden aber im Zuge der LCE Analyse sichtbar und können einer weiterführenden Projektbewertung zugeführt werden)

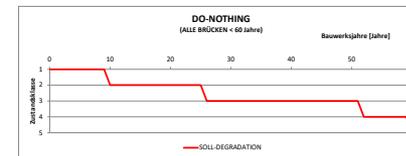
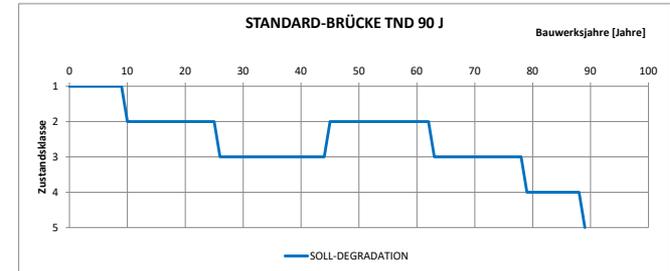
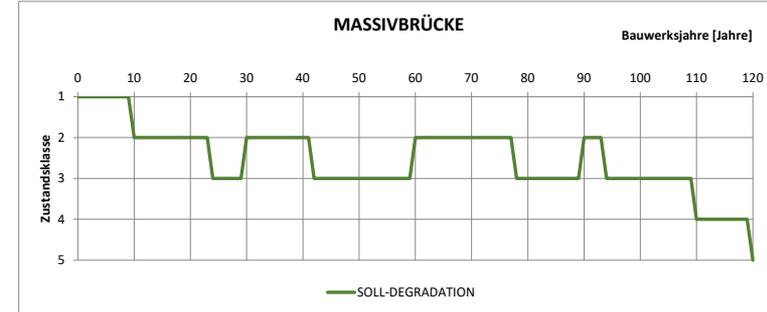
Simulationsszenarien

- Best Case Szenario (Preventive Maintenance strategy):**
 Zustandsbasierte LC Prognose zur Maximierung der technischen Nutzungsdauer unter Zugrundelegung einer präventiven IH-Strategie auf Grundlage der tatsächlichen Zustandsnoten
Ergebnis: Erforderliche Realisierungsmengen & Kosten, damit kein Backlog entsteht

- derzeitige reaktive IH- Strategie (Zustands-basiert)**

- Worst Case Szenario (Do-Minimum strategy):**
 Zustandsbasierte LC Prognose unter Zugrundelegung einer sog. Do Minimum IH-Strategie auf Grundlage der tatsächlichen Zustandsnoten

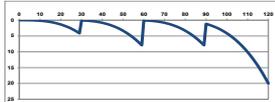
- Backloganalyse (available budget < budget demand)**
 Simulation zur möglichst optimalen Allokation des vorhandenen Budgets (Priorisierung von durchzuführenden Maßnahmen & Konsequenzen aus schnellerem Altern der Bauwerke).



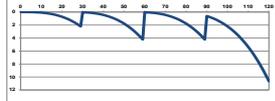
Grundlage Degradationsmodellierung KI Brücken

Lokale Degradation (Komponenten-Ebene)

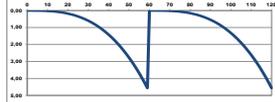
Tragwerk
ND = 120 Jahre



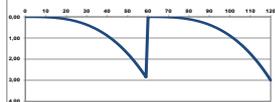
Unterbau
ND = 120 Jahre



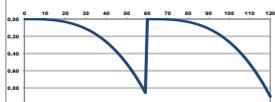
Lager
ND = 60 Jahre



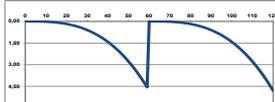
Abdichtung
ND = 60 Jahre



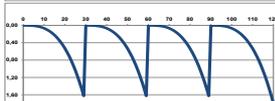
Randbalken
ND = 60 Jahre



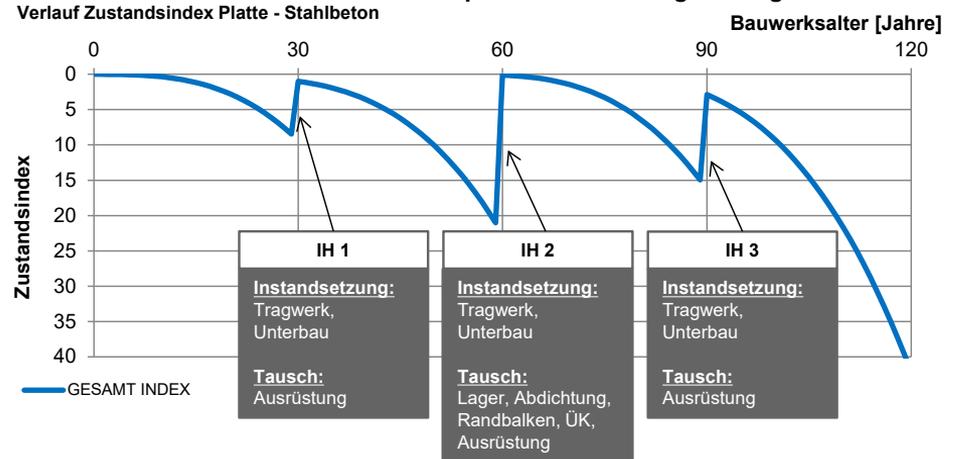
Übergangs-
konstruktion (ÜK)
ND = 60 Jahre



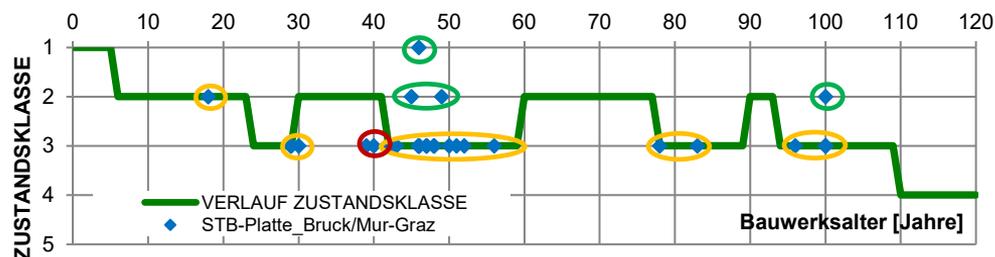
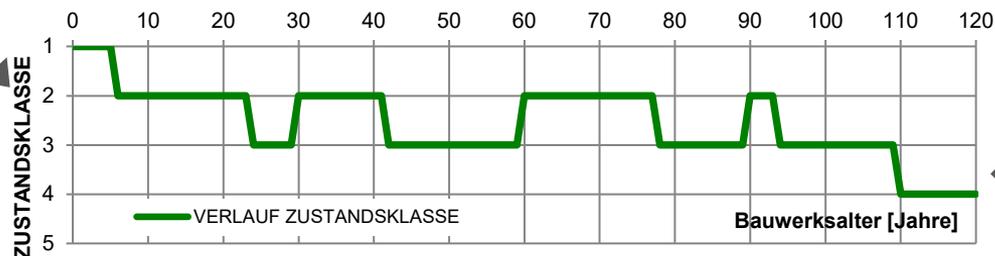
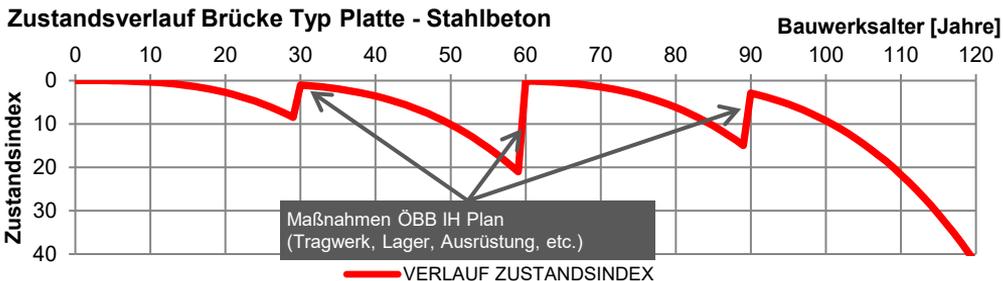
Ausrüstung
(Geländer,
Gehweg, Schotter,...)
ND = 30 Jahre



Resultierende globale Degradation (Brückentyp-spezifisch) Optimierte Erhaltungsstrategie



Vom Degradationsmodell zur Maßnahmenableitung



Publikation:

2. Grazer Betonkolloquium, 25./26. September 2014

„Alterungsmodelle für Eisenbahn-Massivbrücken und weiterführende Life Cycle Analysen hinsichtlich Maßnahmenableitung und Erhaltungsplanung“

Autoren

Robert Veit-Egerer, Monika Widmann, Günther Achs

FCP - Fritsch, Chiari & Partner ZT GmbH, Österreich

Michael Mach, Thomas Petraschek

ÖBB-Infrastruktur AG

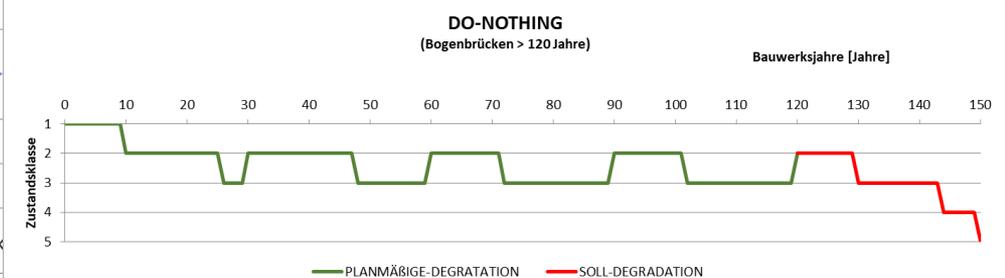
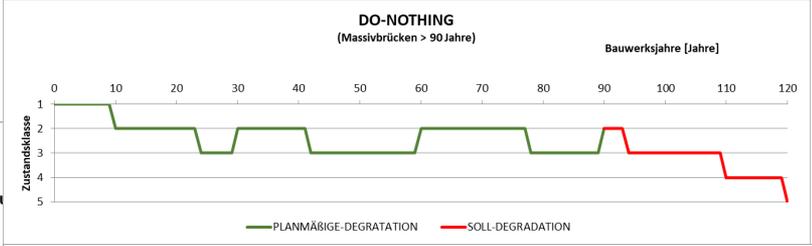
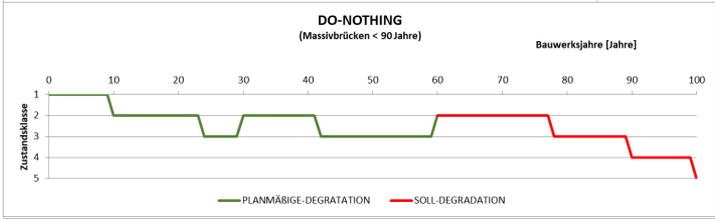
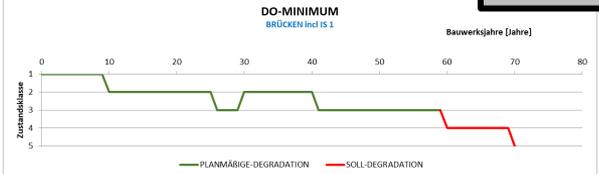
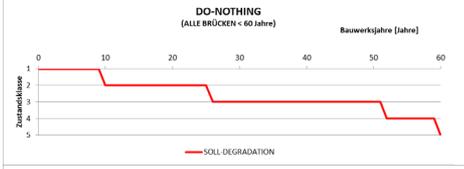
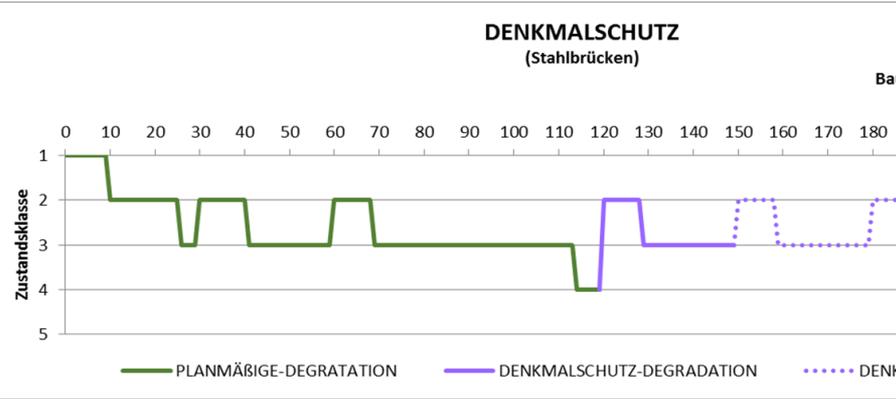
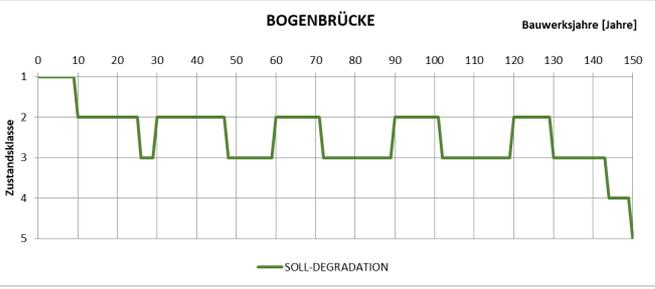
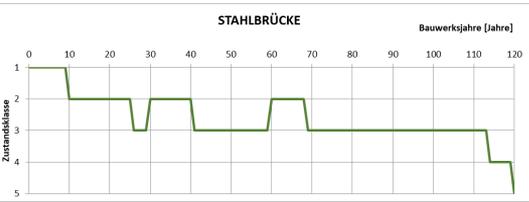
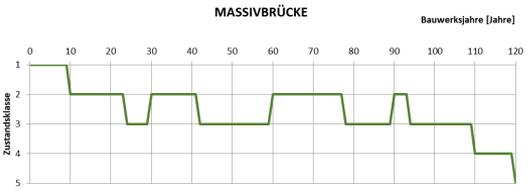
Überführung in Zustandsklassen

- » Integration der ÖBB Instandhaltungsplanung (z.B. Interventionszeitpunkte)
- » Validierung mit Gesamt-Österreichischem Kernnetz

Maßnahmenableitung aus Alterungsmodell entsprechend der Zustandsbeurteilung zum Betrachtungszeitraum

- Reales Alterungsverhalten besser als Modell => Maßnahmen später einzuplanen
- Reales Alterungsverhalten entspricht Modell => Maßnahmen modellgemäß einzuplanen
- Reales Alterungsverhalten schlechter als Modell => Maßnahmen früher einzuplanen

DEGRADATIONSMODELLE (ZUSTANDSKLASSEN => ALTERUNGSPROGNOSEN + MASSNAHMENABLEITUNG)



Maßnahmen-Katalog FCP/ÖBB & RVS 13.05.11 (Auszug)

			Alterungsmodell			
			IS1 30 Jahre	IS2 60 Jahre	IS3 90 Jahre	IS4 120 Jahre
Unterbau	Widerlager		Leistung			
	Pfeiler		Betoninstandsetzung			
	Durchgang		Betoninstandsetzung			
	Flügelmauer		Betoninstandsetzung			
	Viadukt (Ziegel)		Ziegelinstandsetzung			
	Flügelmauer am Viadukt (Ziegel)		Ziegelinstandsetzung			
	sonstige Betonbauteile		Betoninstandsetzung			
Überbau	Tragwerk	Stahlbeton	Betoninstandsetzung			
		Ziegel	Ziegelinstandsetzung			
		Stahl	Korrosionsschutz-erneuerung			
Brückenausrüstung	Lager	Gleit/Elastomerlager	Tausch			
		Kalottenlager	Tausch			
		Topflager	Tausch			
	Fahrbahnübergangskonstruktionen	Übergangskonstruktionsmatte M 100 - M 260, EB-BR	Tausch			
		Abdeckbleche Fuge	Tausch			
	Geländer	Geländer Stahl feuerverzinkt (Lieferung + Montage)	Tausch			
	Lärmschutzwand					
	Entwässerungseinrichtungen	Tagwasserablauf + Wasserableitungsrohre	Tausch			
		Brückenabläufe	Tausch			
		Beton Entwässerungsrinnen	Tausch			
	Gehweg/ Randbalken inkl. Kabeltrog	FT- Randbalkenelemente (Beton) inkl. Abdeckplatten	Tausch			
		FT- Randbalken Abgang inkl. Abdeckplatten ohne Stahlstiege	Tausch			
		Kabeltrog Stahlkonstruktion + Feuerverzinkung	Tausch			
STB- FT Randbalken		Tausch				

Alterungsmodell			
IS1 30 Jahre	IS2 60 Jahre	IS3 90 Jahre	IS4 120 Jahre
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
10%	30%	40%	40%
25%	100%	25% *	-
0%	100%	0%	0%
0%	100%	0%	0%
0%	100%	0%	0%
0%	100%	0%	100%
0%	100%	0%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
100%	100%	100%	100%
0%	100%	0%	0%
0%	100%	0%	0%
0%	100%	0%	0%
0%	100%	0%	0%

Elementkosten-Katalog FCP/ÖBB & RVS 13.05.11 (Auszug)

			Kostenkatalog Betrieb FCP/ÖBB			
			Leistung	Einheit	Preis/ Einheit [€/Einheit]	Preisbasis [Jahr]
Unterbau	Widerlager		Betoninstandsetzung	m ²	250	2015
	Pfeiler		Betoninstandsetzung	m ²	250	2015
	Durchgang		Betoninstandsetzung	m ²	250	
	Flügelmauer		Betoninstandsetzung	m ²	250	
	Viadukt (Ziegel)		Ziegelinstandsetzung	m ²	300	
	Flügelmauer am Viadukt (Ziegel)		Ziegelinstandsetzung	m ²	300	
	sonstige Betonbauteile		Betoninstandsetzung	m ²	250	
	Fundament (Beton)					
	Böschungspflaster					
	Tiefgründung					
Überbau	Tragwerk	Stahlbeton	Betoninstandsetzung	m ²	250	2015
		Ziegel	Ziegelinstandsetzung	m ²	300	2014
		Stahl	Korrosionsschutz- erneuerung	m ²	120	2015
Brückenausrüstung	Lager	Gleit/Elastomerlage	Tausch	Stk.	1700 bis 4000	2010 - 2015

Kostenmodelle Brückenbenchmarks WL/VCE/ÖBB

Interventionen an der fiktiven Modellanlage in €/m² Grundrissfläche

Modell 2020	< 20 m				
	IH1	IH2	IH3	IH4	RI
Massiv	349	1284	629		3000
Gewölbe	187	444	450	450	3000
Stahl	341	1213	394		3750

> 20 m < 60 m				
IH1	IH2	IH3	IH4	RI
172	629	360		2250
243	682	528	528	2250
315	1281	406		3250

> 60 m				
IH1	IH2	IH3	IH4	RI
130	457	327		2000
416	1640	463		3000

Modell 2020	< 20 m					
DS	IH1	IH2	IH3	IH4	RI	IHDS
Massiv	1284	1284	1284		3000	1284
Gewölbe	444	444	444	444	3000	444
Stahl	1213	1213	1213		3750	1213

> 20 m < 60 m					
IH1	IH2	IH3	IH4	RI	IHDS
629	629	629		2250	629
682	682	682	682	2250	682
1281	1281	1281		3250	1281

> 60 m					
IH1	IH2	IH3	IH4	RI	IHDS
457	457	457		2000	457
1640	1640	1640		3000	1640

Aufschläge:

Risiko und Unvorhergesehenes	50,00%
Planung und Örtliche Bauaufsicht	20,00%
Baustellengemeinkosten	30,00%
Urbanes bauen	0,00%
Summe	100,00%

Valorisierung der Kosten:

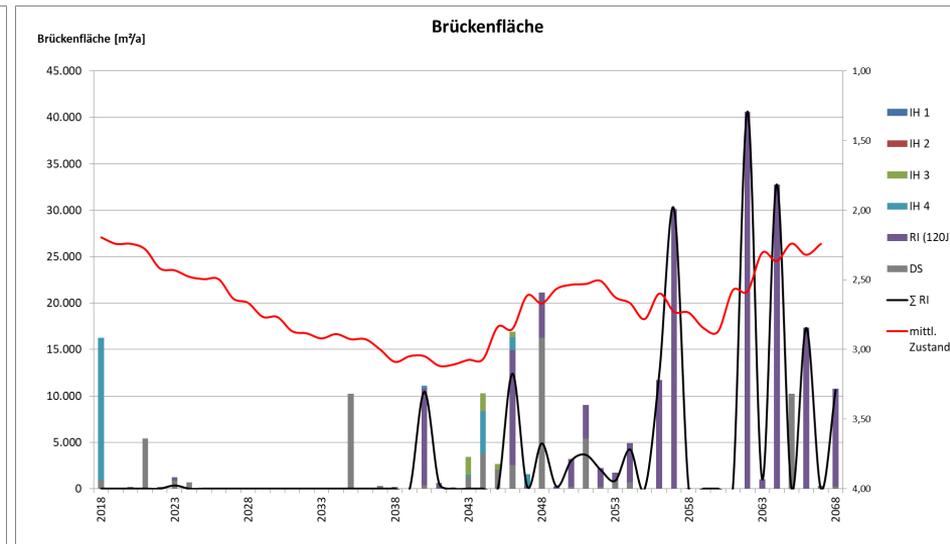
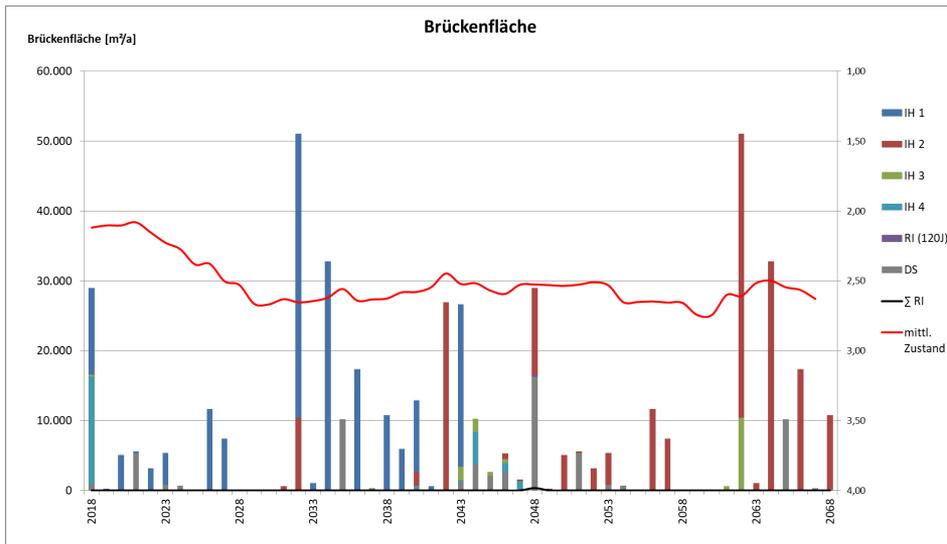
Optional frei wählbar

Annahme für langjähriges Mittel: 2,5% pro Jahr

Vergleichende Portfolioanalyse VCE am WL Brücken-Gesamtnetz

Prognostizierte Realisierungsmengen
als Folge der Umsetzung der Maßnahmenableitung
aus dem LCM Prognoseszenario
„präventive, Zustands-basierte
Instandhaltungsstrategie“

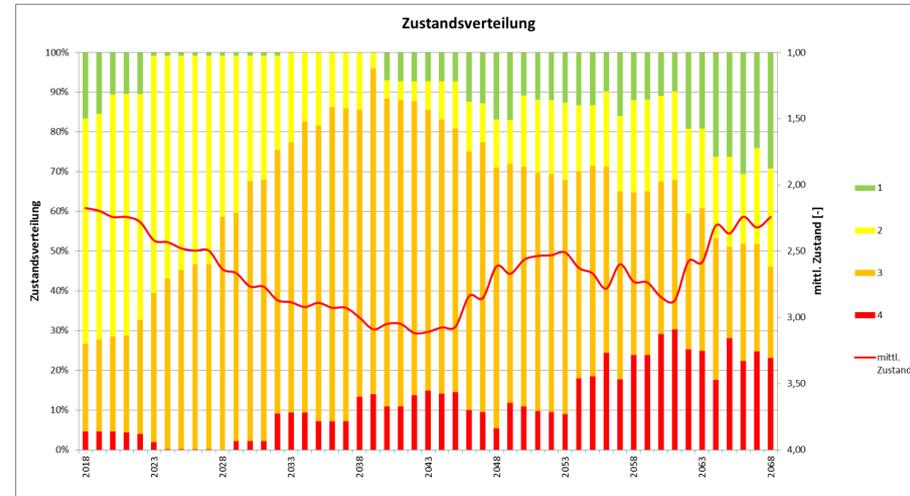
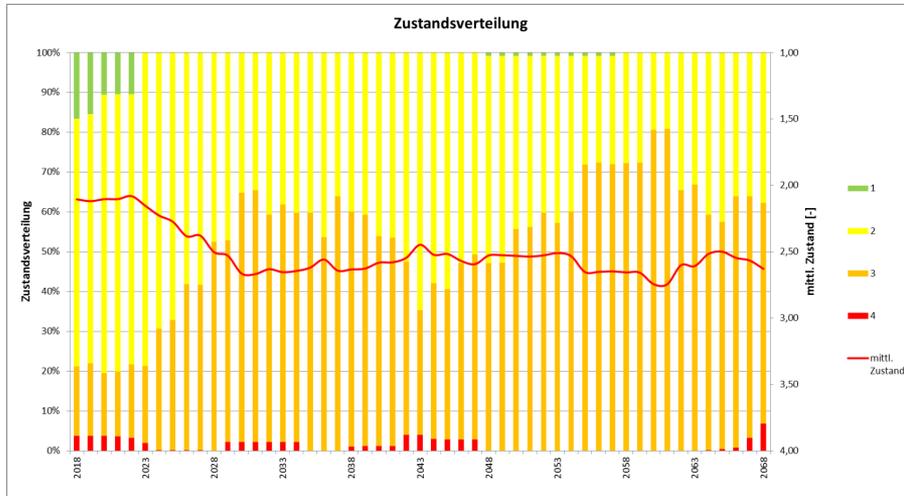
Prognostizierte Realisierungsmengen als Folge der
Umsetzung der Maßnahmenableitung
aus dem LCM Prognoseszenario
„Do-Minimum Strategy“



Vergleichende Portfolioanalyse VCE am WL Brücken-Gesamtnetz

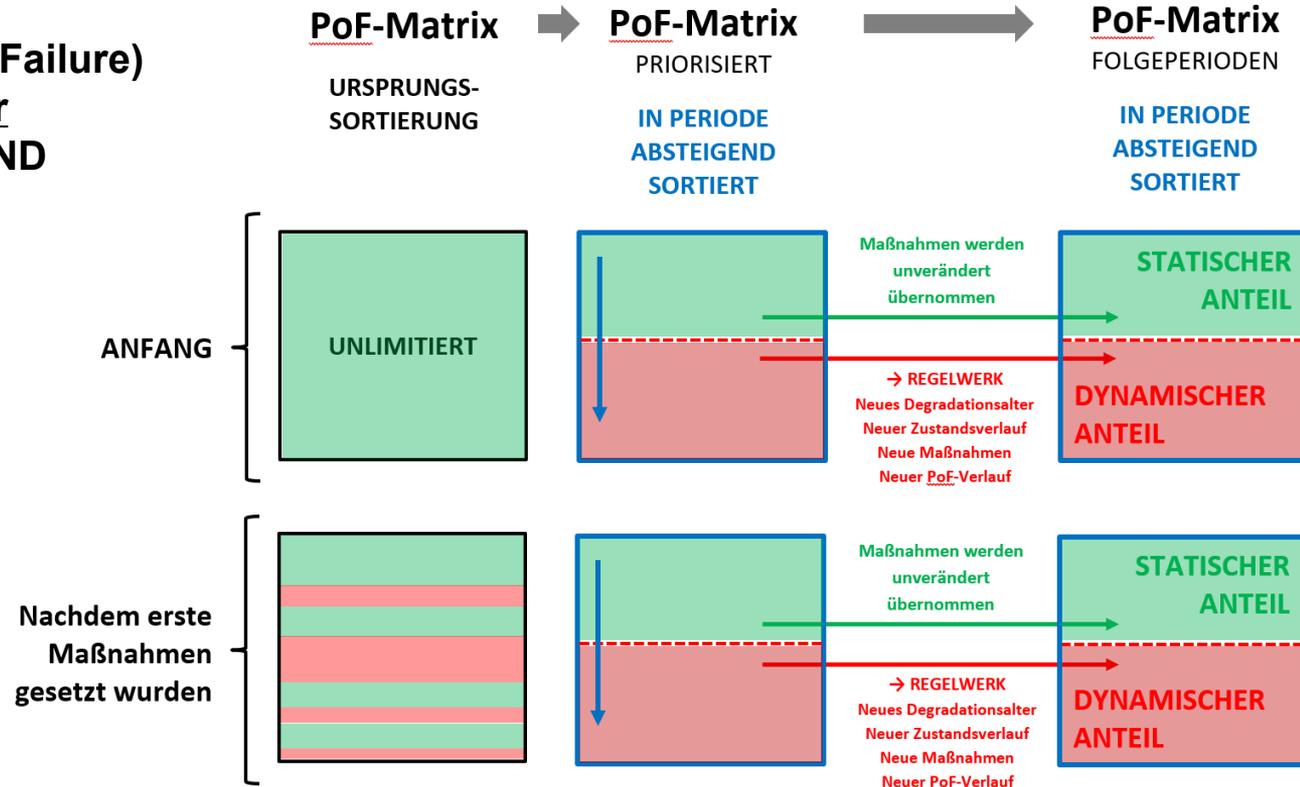
Prognostizierter durchschn. Zustandsverlauf
als Folge der Umsetzung der Maßnahmenableitung
aus dem LCM Prognoseszenario
„präventive, Zustands-basierte
Instandhaltungsstrategie“

Prognostizierter durchschn. Zustandsverlauf
als Folge der Umsetzung der Maßnahmenableitung
aus dem LCM Prognoseszenario
„Do-Minimum Strategy“



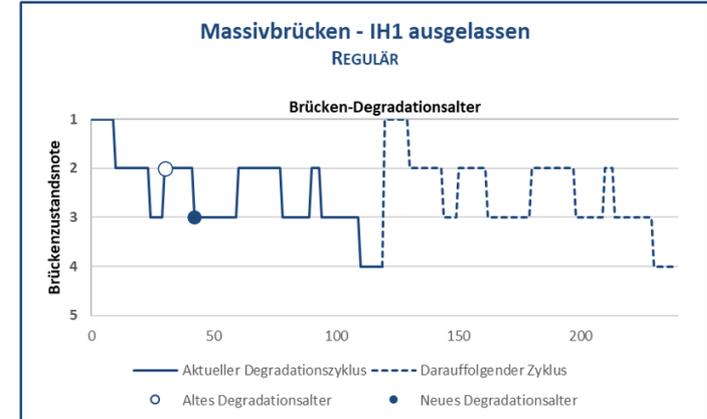
Backloganalyse – Budget Optimierung als Prozess-Bündel aus Priorisierung vs. Maßnahmenverschiebung und der simulierten Konsequenzen daraus

PoF (Probability of Failure)
= Degradationsalter
prognostizierte TND



Backloganalyse – Erstellung eines umfassenden Regelkatalogs für den automatisierten Umgang mit Maßnahmenverschiebung für alle Degradationsmodelle und deren Lebenszyklusphasen (exemplarisch)

MASSIVBRÜCKE	BETROFFENE MAßNAHME	VERSATZ [JAHREN]	ZUGEWIESENER ZUSTAND	DEGRADATIONSALTER FORTGESETZT BEI	WECHSEL DER DEGRADATIONSKURVE IN
	IH1	0	Keine	42	Keiner
	IH2	0	Keine	60	Do-Minimum <60 (TND = 70 Jahre)
	IH3	0	Keine	90	Do-Minimum <90 (TND = 100 Jahre)
	IH4				
	RI	6	5	nicht nötig	Reines Verschieben
	IH DS	6	5	nicht nötig	Reines Verschieben
	IH DS (B)	6	5	nicht nötig	Reines Verschieben

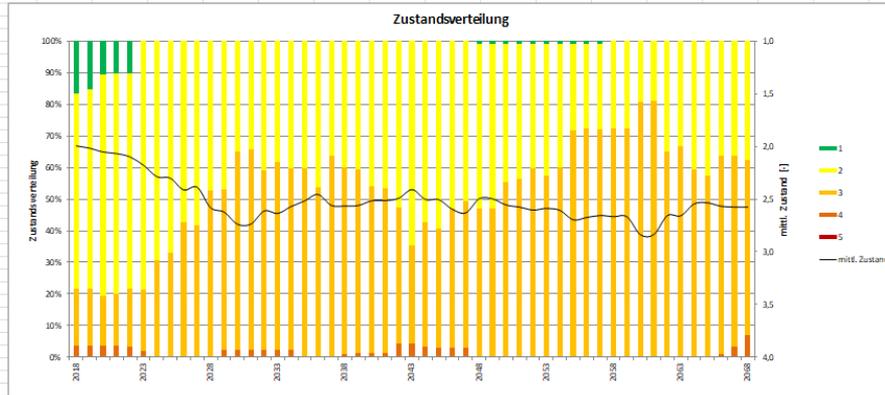


Vergleichende Portfolioanalyse VCE am WL Brücken-Gesamtnetz

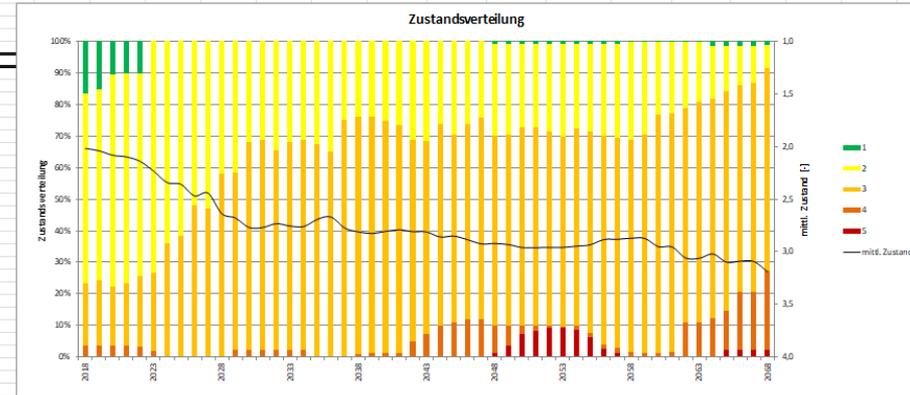
Prognostizierter durchschn. Zustandsverlauf
als Folge der Umsetzung der Maßnahmenableitung
aus dem LCM Prognoseszenario
„präventive, Zustands-basierte
Instandhaltungsstrategie“

Prognostizierter durchschn. Zustandsverlauf
als Folge der Umsetzung der Maßnahmenableitung
aus dem LCM Prognoseszenario
„Zustands-basierte Optimierung im Rahmen der
Budgetvorgabe“

VOR BUDGET-OPTIMIERUNG

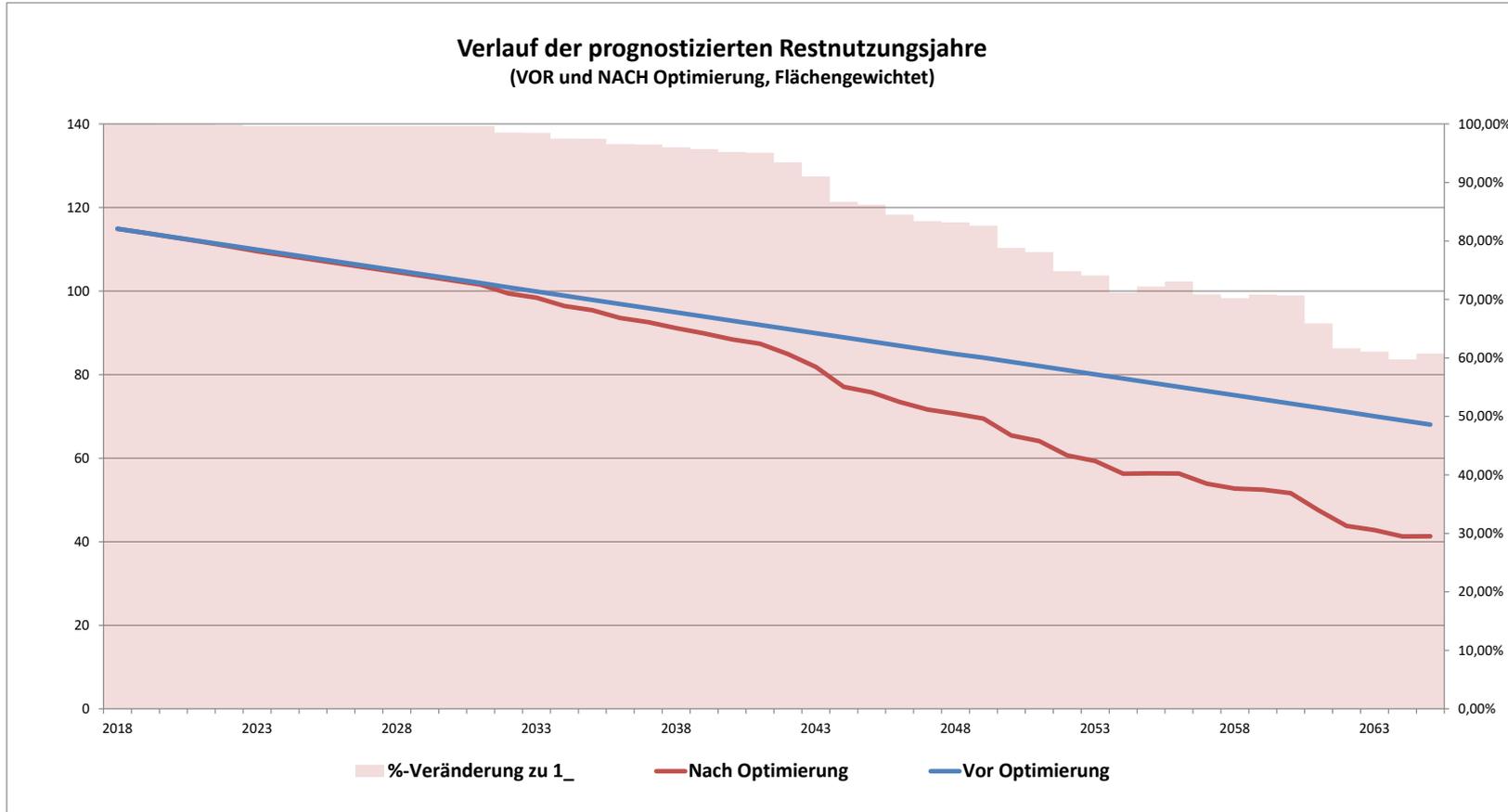


NACH BUDGET-OPTIMIERUNG

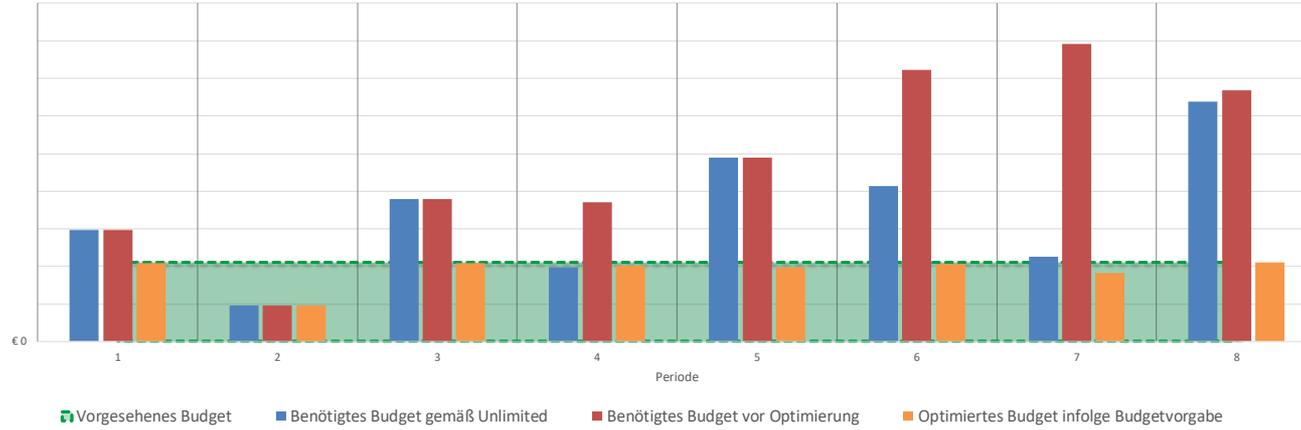


Backloganalyse – Budget Optimierung als Prozess-Bündel aus

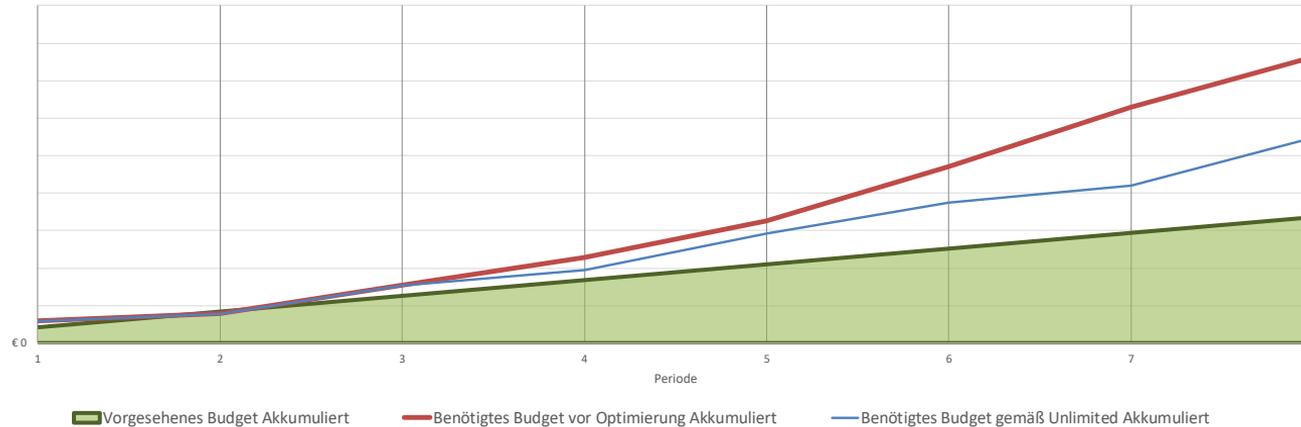
Priorisierung vs. Maßnahmenverschiebung und der simulierten Konsequenzen daraus



Budgetvergleich der Periode

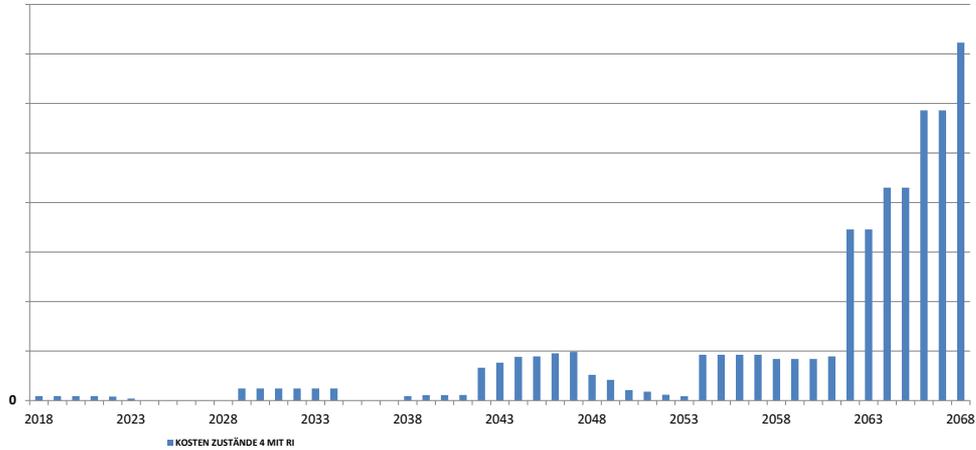


Akkumulierter Backlog



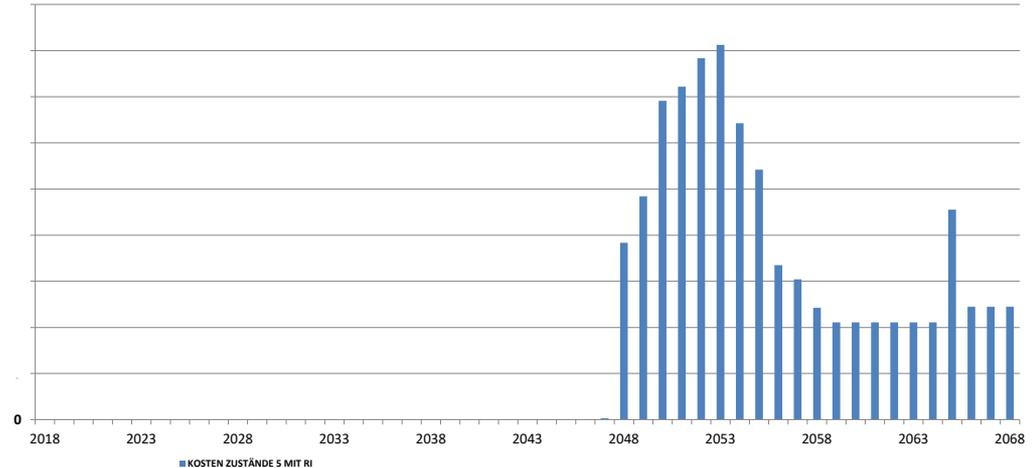
POTENTIELLE RI KOSTEN INFOLGE ERREICHTEM **ZUSTAND 4**
(NACH Optimierung)

Millionen



POTENTIELLE RI KOSTEN INFOLGE ERREICHTEM **ZUSTAND 5**
(NACH Optimierung)

Millionen



I) VORGESCHICHTE / LCE MODELLE & TOOLENTWICKLUNG /
PORTFOLIOSIMULATIONEN BRÜCKENGESAMTNETZ WIENER
LINIEN & REFERENZERGEBNISSE
(R.Veit-Egerer VCE)

**II) TOOLIMPLEMENTIERUNG IN DIE DB LANDSCHAFT DER
WIENER LINIEN & WEITERENTWICKLUNG / DEMONSTRATION**
(Simon Wallner Wiener Linien)

Inputs und Annahmen für Simulation

