



FP VSS 2004/710-715

Forschungspaket

Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen

Ergebnisse und Erkenntnisse

IVT Seminar

1. September 2008



FP VSS 2004/710-715

Inhalt

- Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement
- Forschungspaket Massnahmenplanung
 - Allgemein
 - Einzelprojekte EP 1 – EP5
 - Überblick Forschungsergebnisse
- Ausblick



FP VSS 2004/710-715



Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement

Grundlagen



FP VSS 2004/710-715

Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement

- Strassenbetreiber: Durchführung der Massnahmenplanung
Fahrbahnen (Bildung von Massnahmenfolgen)
- Mittel- und langfristig Planungszeiträume (>15 Jahre)
- Reduktion der Erhaltungskosten (mittel- und langfristig)
dadurch maximale Wirksamkeit der eingesetzten finanziellen
Mittel
- Planungsabläufe und Grundlagen in der Schweiz sehr
unterschiedlich



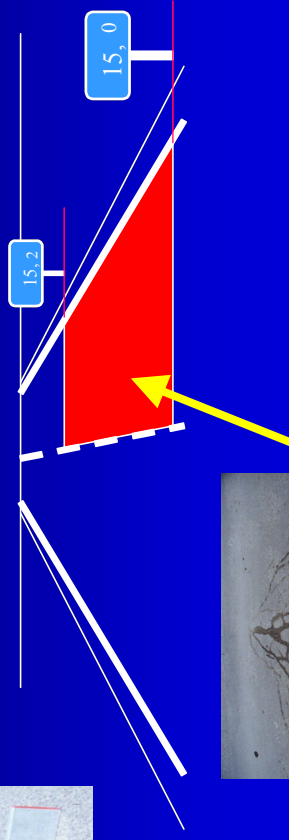
FP VSS 2004/710-715

Fahrhahnoberfläche

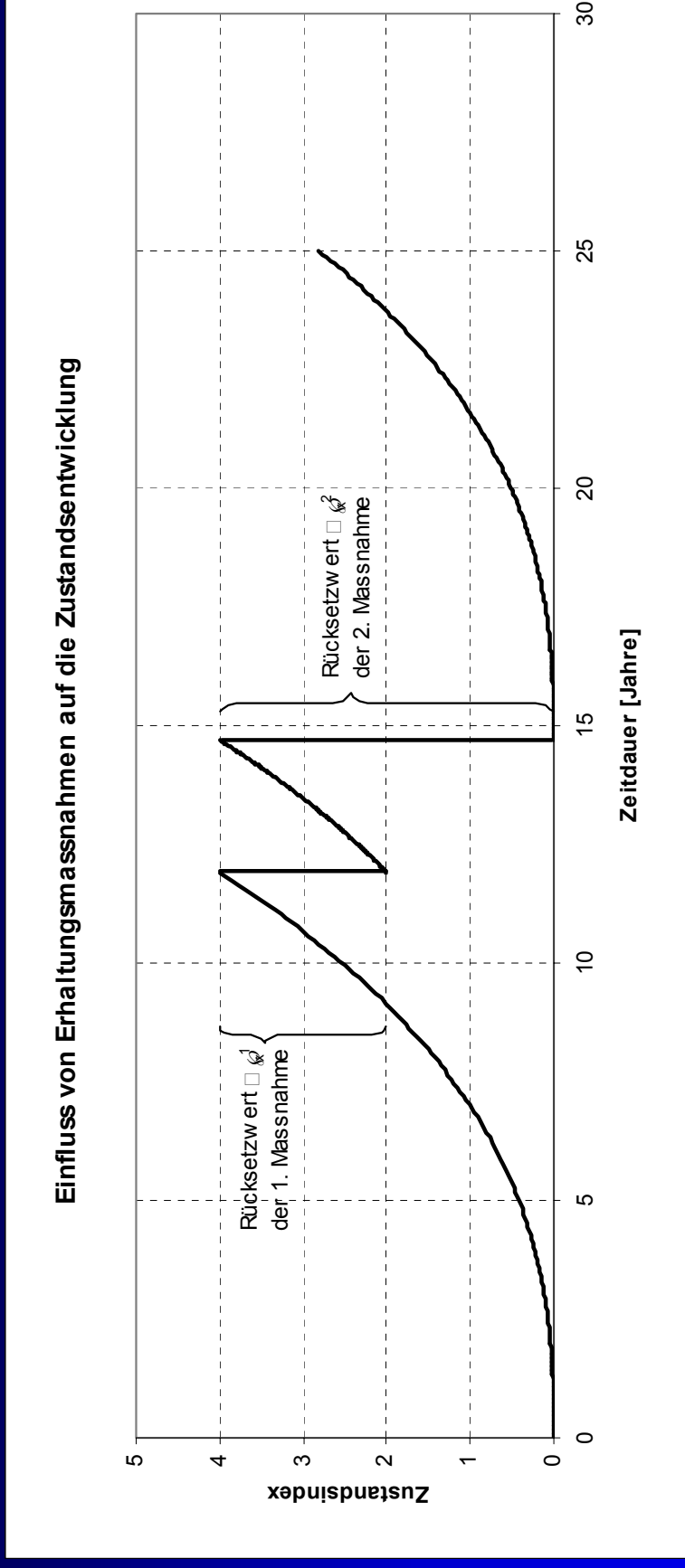


Beobachtung des tatsächlichen Verhaltens der FB-Oberfläche und Ermittlung eines Zusammenhangs zwischen Einflussgrößen und der zeitlichen Veränderung des Zustands der FB-Oberfläche

Zustandserfassung



Zustandsentwicklung der Fahrbahnoberfläche

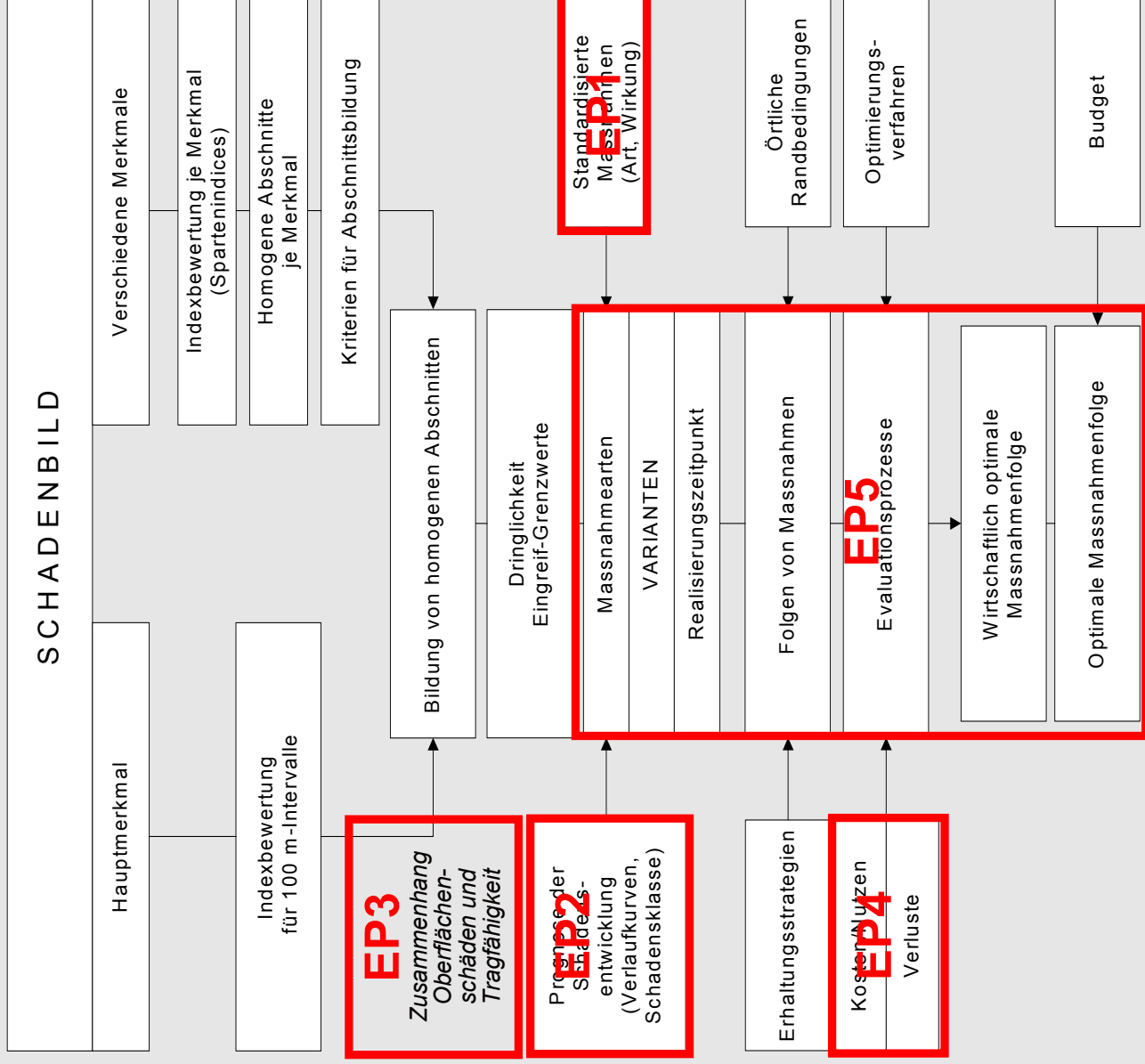




FP VSS 2004/710-715

Ablauf der Massnahmen- planung

OPTIMALE MASSNAHME UND REALISIERUNGS- ZEITPUNKT (NETZEBENE)





FP VSS 2004/710-715

Forschungspaket Massnahmenplanung

EP 1: Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen

149'500 CHF

EP 2: Schadensprozesse / Verhaltenskurven

140'600 CHF

EP3: Oberflächenschäden/Tragfähigkeit

106'400 CHF

EP 4: Nutzen-Kosten Erhaltungsmaßnahmen

150'000 CHF

EP 5: Vor-/ Aufschub Erhaltungsmaßnahmen

115'060 CHF

EP 2: Zusatz Datenmaterial

29'000 CHF

Projektleitung

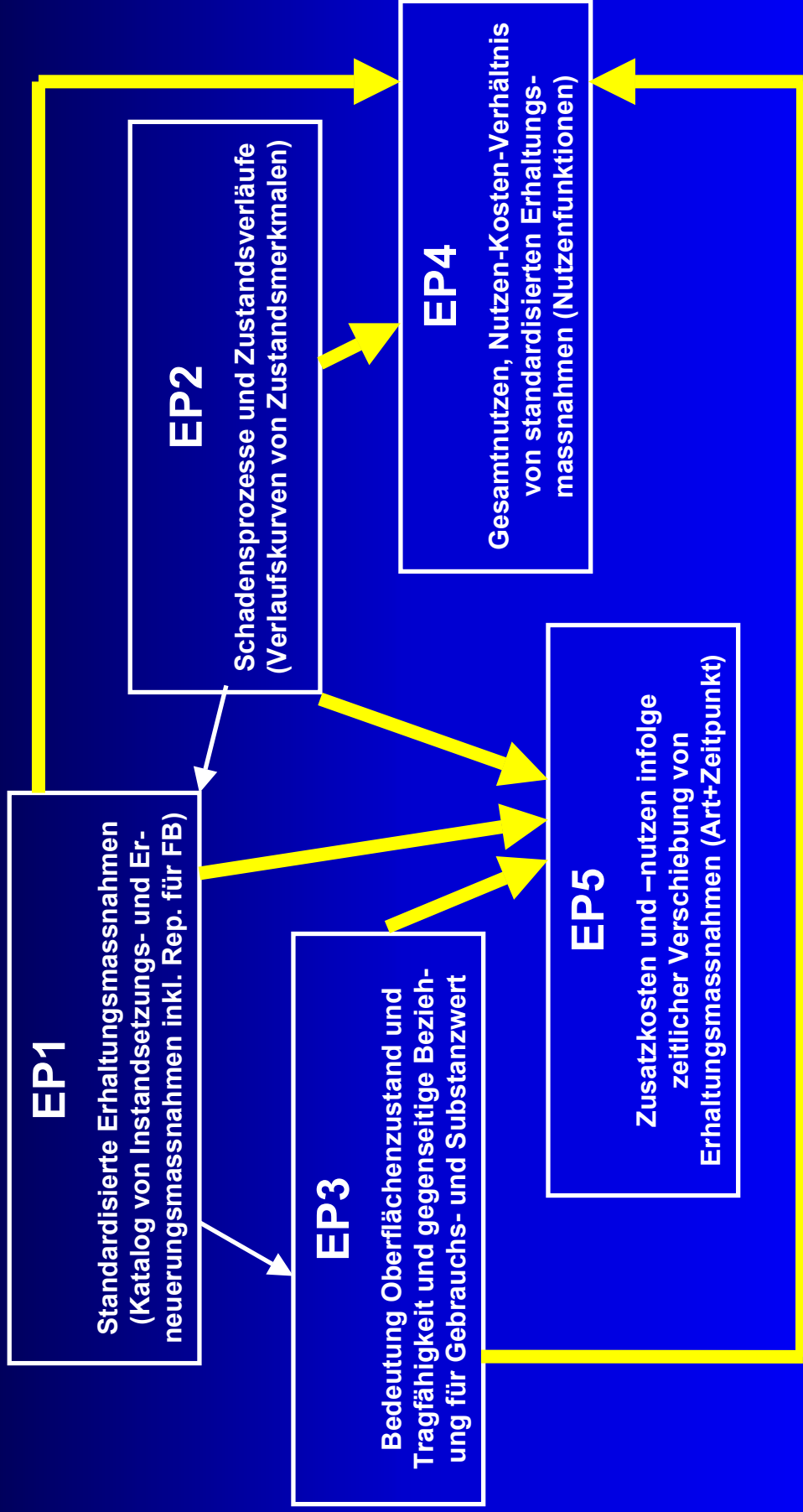
80'000 CHF

Gesamt: 770'560 CHF

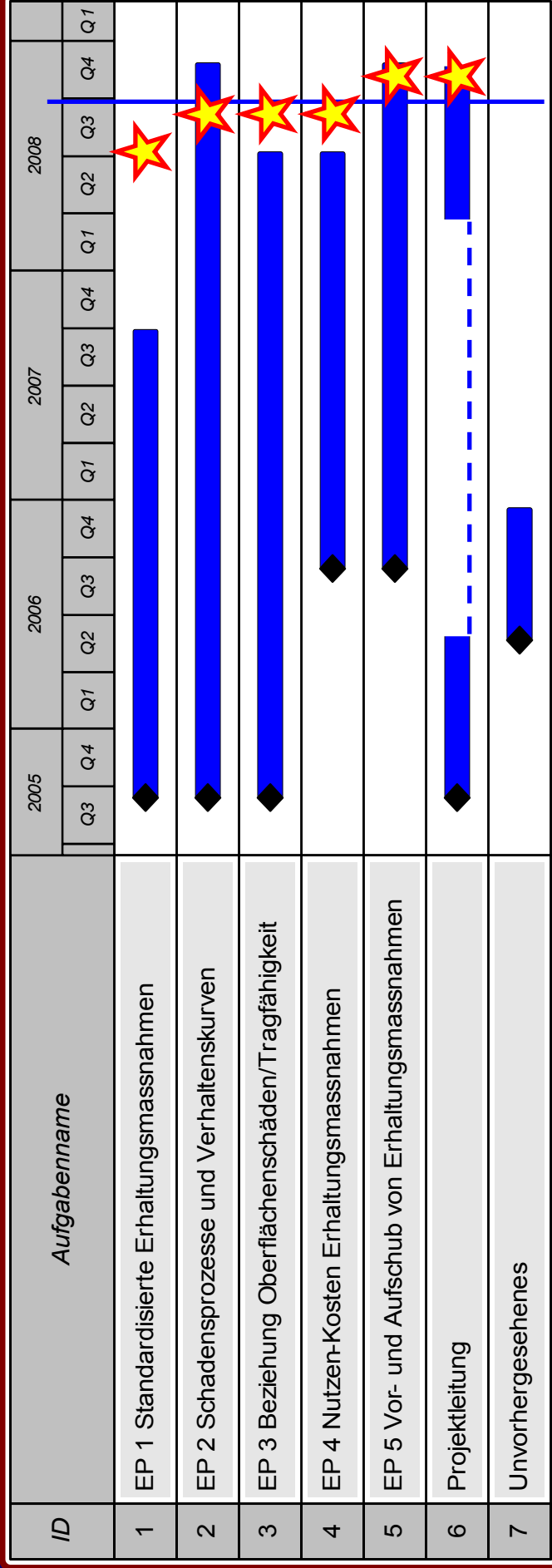


FP VSS 2004/710-715

Beziehung der EP im Forschungspaket



Zeitplan





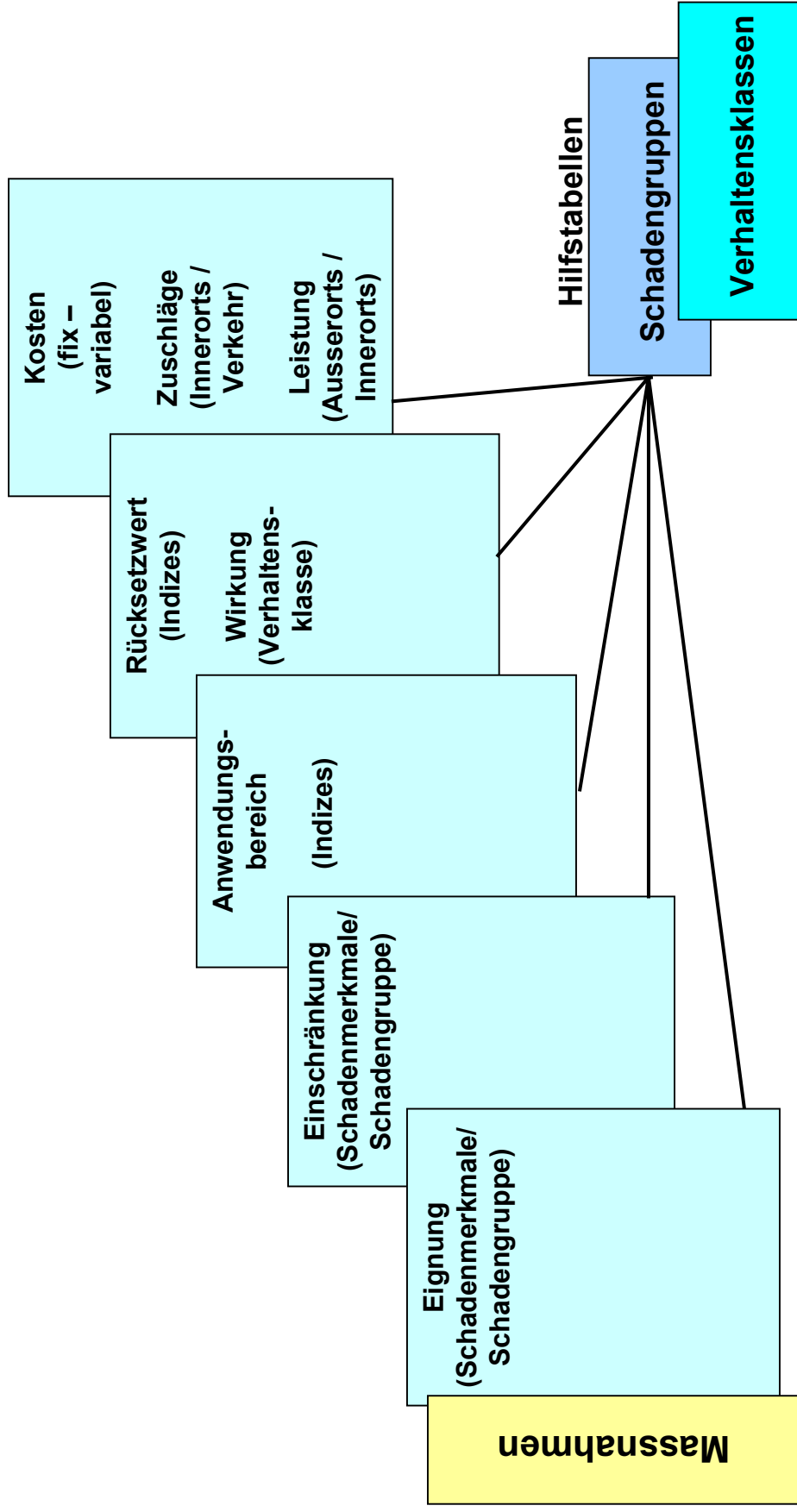
FP VSS 2004/710-715

Einzelprojekt 1

Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen

VSS FA 2004 / 711 Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen

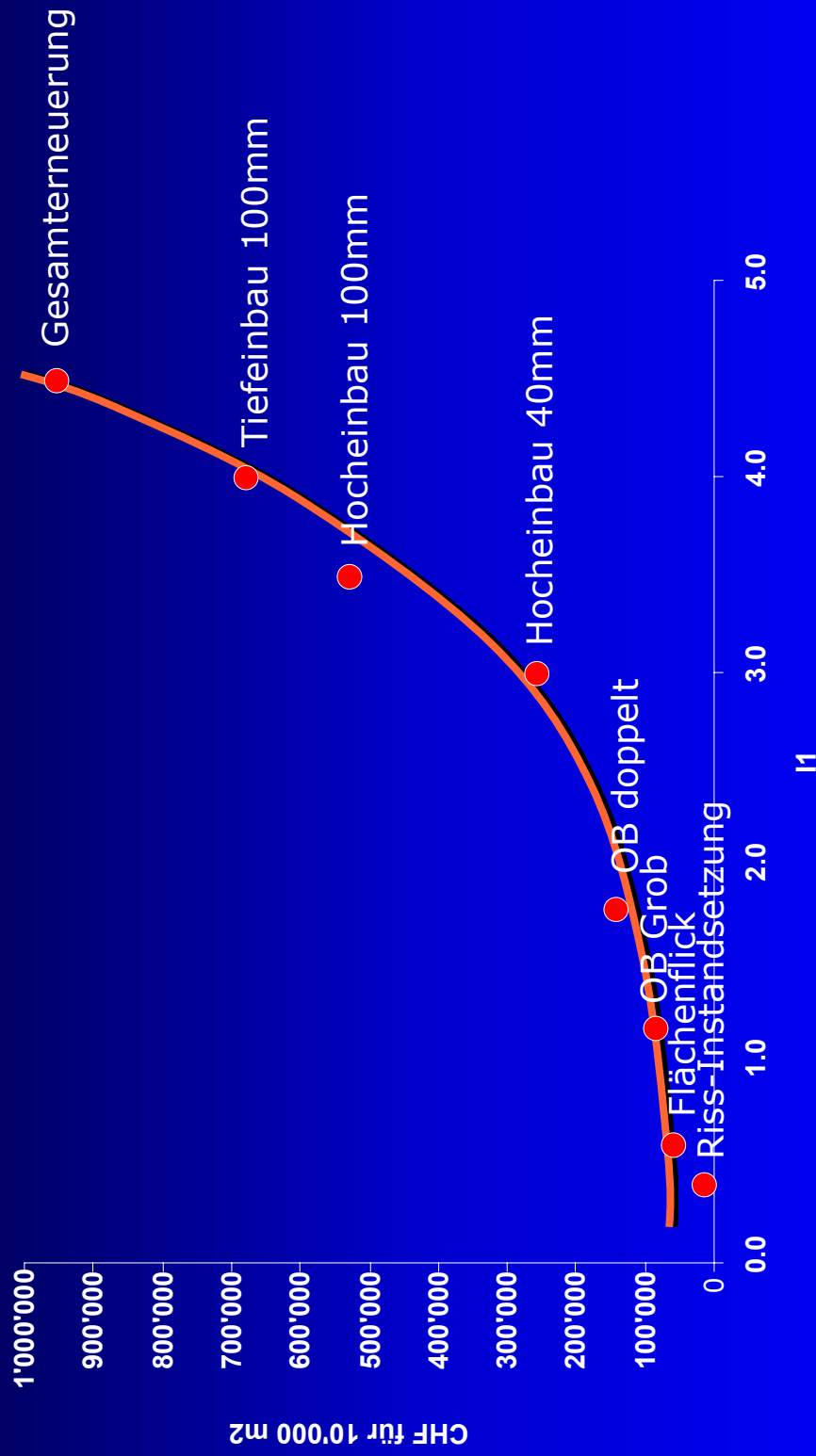
Struktur Massnahmenkatalog





FP VSS 2004/710-715

Massnahmenkatalog





EP1 standardisierte Erhaltungsmaßnahmen

Massnahmen	Spezifikationen	Rücksetzwert					Wirkung		Kosten		Leistung Ausserorts m2/Tag	Anwendungsbereich						
		I1	I2	I3	I4	I5	relativ	absolut	Fix	Variabel		I1	I2	I3				
							Verhaltensklasse		CHF	CHF/m2								
1.	Reparatur SN 640 731b																	
1.1	Riss - Instandsetzung	-0.4					+/-0		1'000.00	1.40	2'000			0.4 - 1.2				
1.2	Flächenflick, kleine Einzelflächen	-0.4					+/-0		1'000.00	2.30	2'000			0.4 - 1.2				
1.3	Flächenflick, grosse Einzelflächen	-0.4					+/-0		1'000.00	5.70	3'000			0.6 - 1.4				
1.4	Grabenflicke Instand stellen	-0.4	-0.5	-0.5		-0.5	+/-0		1'000.00	82.90	200			0.6 - 0.9				
1.5	Fugen RA ausgiessen						+/-0		1'000.00	13.70	200							
2.	Instandsetzung und Verstärkung SN 640 732a, 640 733b																	
2.1	Oberflächenverbesserungen																	
2.1.1	OB fein (Gehweg)	-0.4			0.0		+/-0		3'500.00	9.10	500			0.8 - 1.8				
2.1.2	OB grob	-0.6			0.0		+/-0		3'500.00	8.00	3'000			0.8 - 1.8				
2.1.3	OB doppelt	-0.6		-1.0	0.0		+/-0		3'500.00	13.70	3'000			1.2 - 2.4				
2.1.4	OB Kunststoff	-0.4			0.0		+/-0		3'500.00	57.00	3'000			0.8 - 1.8				
2.2	Dünnschichtbelag																	
2.2.1	Kaltnicro (DASK), 15 mm, ohne Vorfräsen	-0.6					+/-0		3'500.00	6.20	4'000			0.8 - 1.8				
2.2.2	Kaltnicro (DASK), 15 mm, mit Vorfräsen	-1.2	1.5	1.0			+/-0		4'100.00	10.80	3'000			1.2 - 2.4				2.0 - 3.0
2.2.3	Heissmicro (ACVTL), 20 mm, ohne Vorfräsen	-1.2	-1.0	-1.0			+/-0		3'500.00	11.00	4'000			0.8 - 1.8				
2.2.4	Heissmicro (ACVTL), 20 mm, mit Vorfräsen	-1.8	1.0	0.5			+/-0		4'100.00	15.60	3'000			1.2 - 2.4				2.0 - 3.0
2.3	Hocheinbau (Deckschicht)																	
2.3.1	40 mm, ohne Vorfräsen	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1		3'500.00	17.60	10'000			2.5 - 3.5	2.0 - 3.0	2.0 - 3.0		
2.3.2	40 mm, mit Vorfräsen	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1		4'100.00	25.60	8'000			2.5 - 3.5	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0		
2.3.3	40 mm, mit Vorfräsen und Asphaltbewehrung	0.0	0.0	0.0	0.0	-1.0	-1		4'100.00	42.70	6'000			2.5 - 3.5	2.0 - 3.0	3.0 - 4.0		
2.4	Hocheinbau (Deck- und Binderschicht)																	
									3'500.00	44.00	8'000			3.0 - 4.0	2.5 - 3.5	2.5 - 3.5		



FP VSS 2004/710-715

Einzelprojekt 2

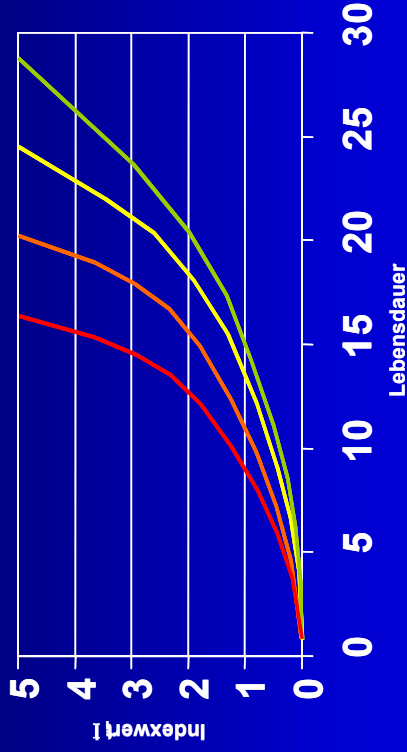
Schadensprozesse und Zustandsverläufe



FP VSS 2004/710-715

EP2 Zustandsentwicklung/Verhaltenskurven

Theoretisches Modell
z.B. Oberflächenschäden

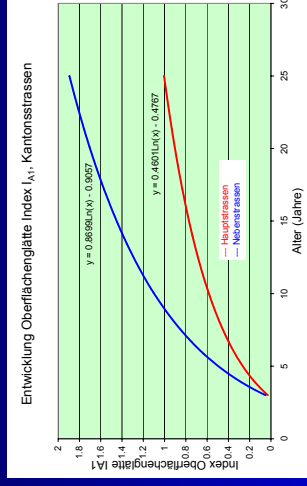


- Schadensentwicklung
- sehr schnell
 - schnell
 - mittel
 - langsam

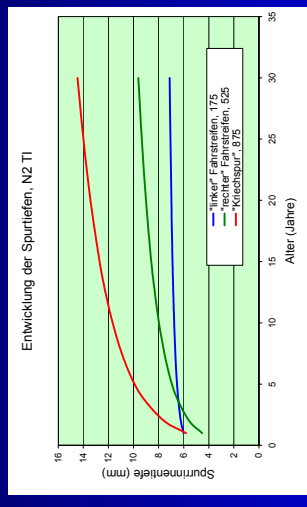
$$ZI(t) = a_I \cdot t^{b_I} \cdot t_z^{c_I}$$

Empirisch ermittelte Resultate

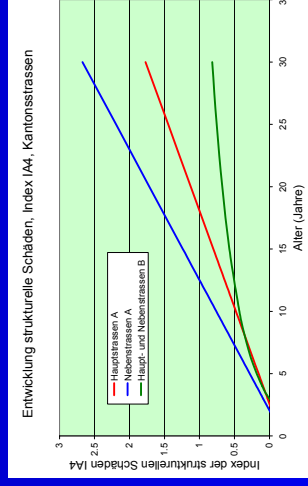
Oberflächenglätte



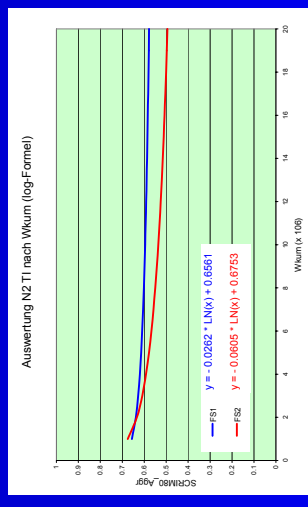
Spurrinnen



Strukturelle Schäden



Griffigkeit

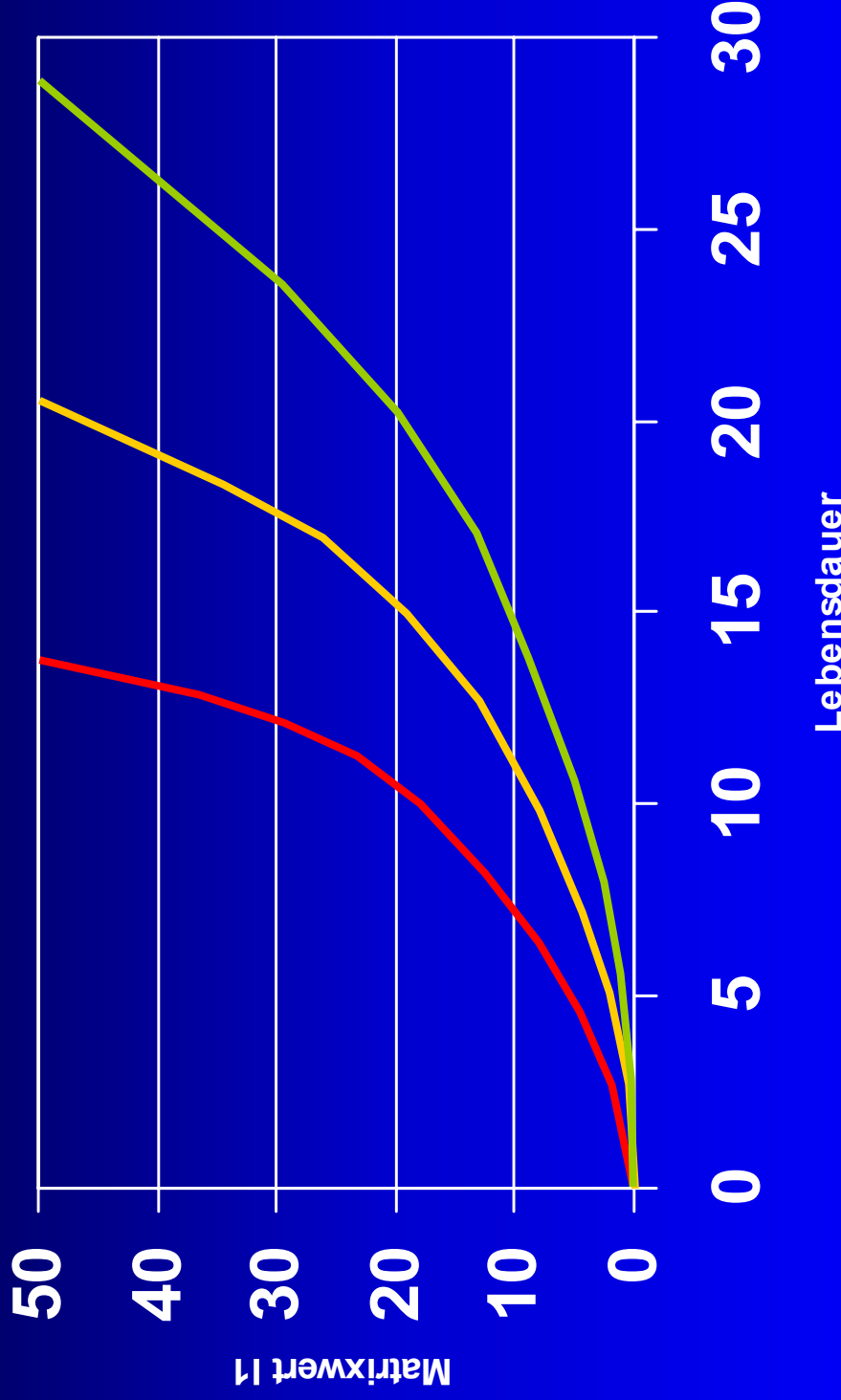




FP VSS 2004/710-715

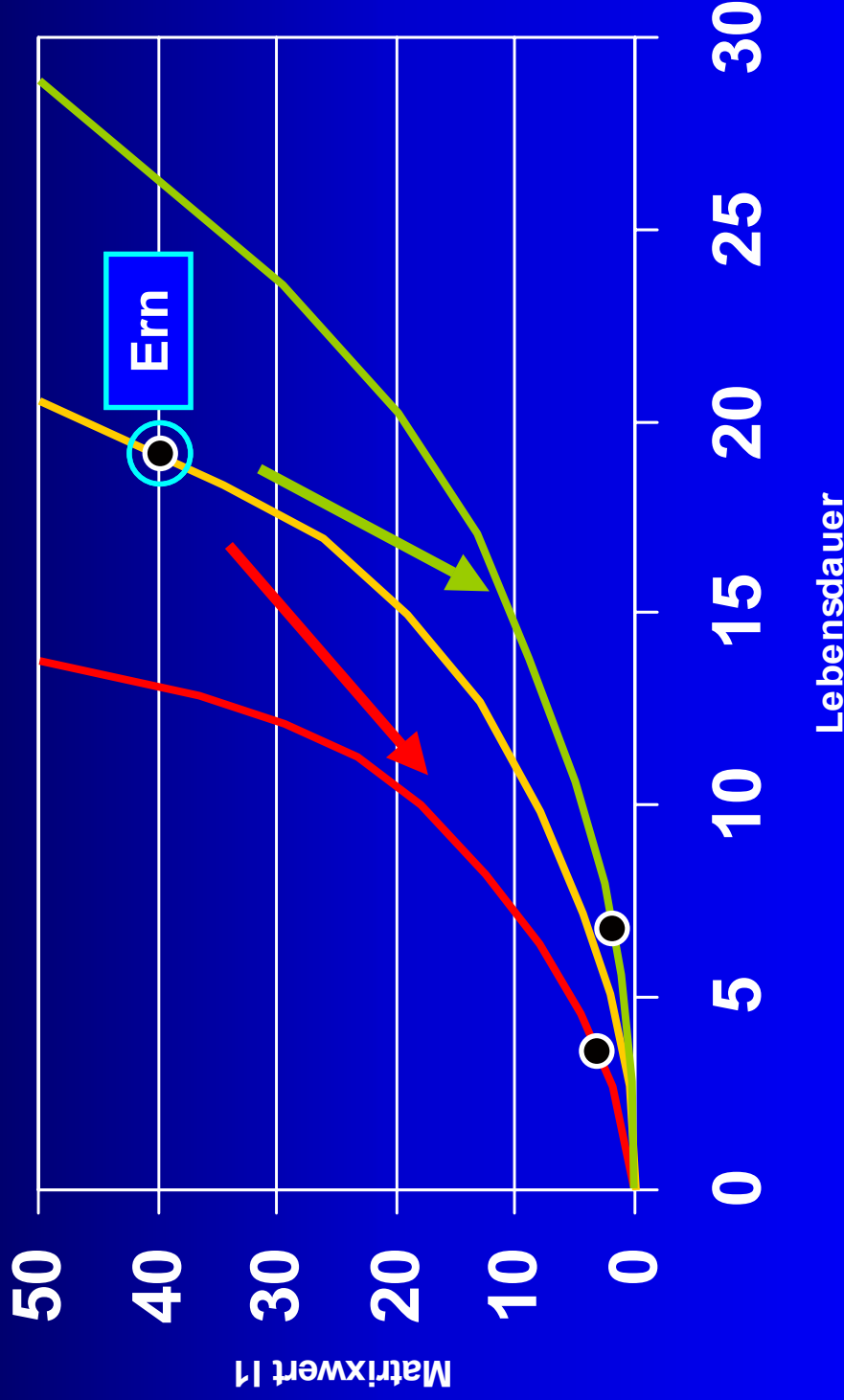
Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen

Berücksichtigung von Verhaltensklassen – Wirkung von Massnahmen



Standardisierte Erhaltungsmaßnahmen

Berücksichtigung von Verhaltensklassen – Wirkung von Massnahmen



Modelle gemäss Ausschreibung

- strukturelle Schäden, Längs- und Querunebenheit, Griffigkeit und Tragfähigkeit
- Strukturschäden und Risse, Längs- und Querunebenheit, Griffigkeit und Tragfähigkeit
- strukturelle Oberflächenschäden, Spurrinnen, Griffigkeitseigenschaften und Tragfähigkeit
- Strukturschäden, Spurrinnen, Griffigkeit und Tragfähigkeit
- Strukturschäden, Längsunebenheit, Spurrinnen, Griffigkeit und Tragfähigkeit

Modelle gemäss Projekt

Index	Beschreibung	Messgrösse	Bemerkungen
I _{A1}	Oberfl.glätte	I _{A1}	nur Schwitzen
I _{A2}	Belagschäden	I _{A2}	Regression aus vorh. Daten
I _{A3}	Belagsverform.	I _{A3}	Durch Index I3 abgedeckt
I _{A4}	Str. Schäden	I _{A4}	Regression aus vorh. Daten
I _{A5}	Flicke	I _{A5}	unmöglich
I2	Längsebenheit	s _w -Wert	Regression aus vorh. Daten
I3	Querebenheit	Spurtiefe T	Regression aus vorh. Daten
I4	Griffigkeit	μ _{SCRIM/Skiddo}	Regression NStr.+ Fremdvorlage
I5	Tragfähigkeit	I5	unmöglich

Modelle Spurtiefe $T_{\max}(I_3)$

Str. Typ	Bedingung	Modell	R ²
G	T1, $I_5 \leq 3$	$y = 2.0267 \cdot \ln(\text{Alter}) + 1.3474$	0.84
G	T1, $I_5 > 3$	$y = 2.2192 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.6823$	0.90
G	T2, $I_5 \leq 3$	$y = 3.4784 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.3453$	0.67
G	T2, $I_5 > 3$	$y = 4.0019 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.1326$	0.61
G	T3, $I_5 \leq 3$	$y = 3.8035 \cdot \ln(\text{Alter}) + 0.9682$	0.71
G	T3, $I_5 > 3$	$y = 4.0013 \cdot \ln(\text{Alter}) - 0.1573$	0.64
G	T4, $I_5 \leq 3$	$y = 5.4493 \cdot \ln(\text{Alter}) - 1.962$	0.66
G	T4, $I_5 > 3$	$y = 6.8569 \cdot \ln(\text{Alter}) - 6.364$	0.60



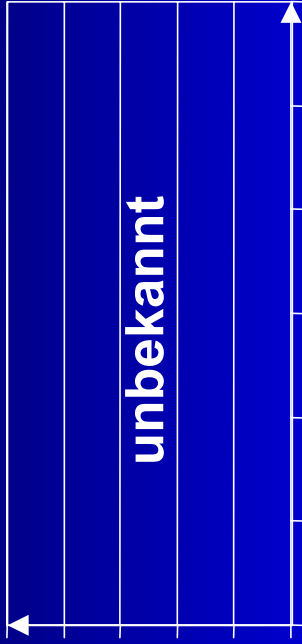
FP VSS 2004/710-715

Einzelprojekt 3

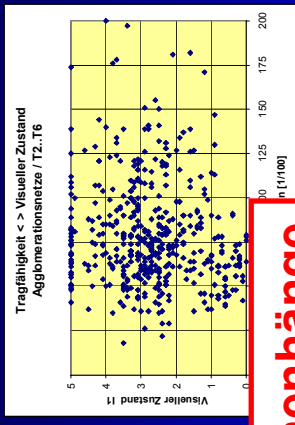
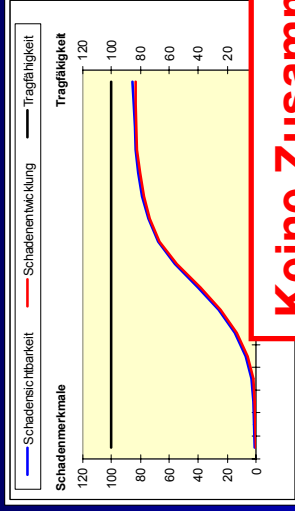
**Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige
Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert**

EP3 Oberflächenschäden <-> Tragfähigkeit

Theoretisches Modell



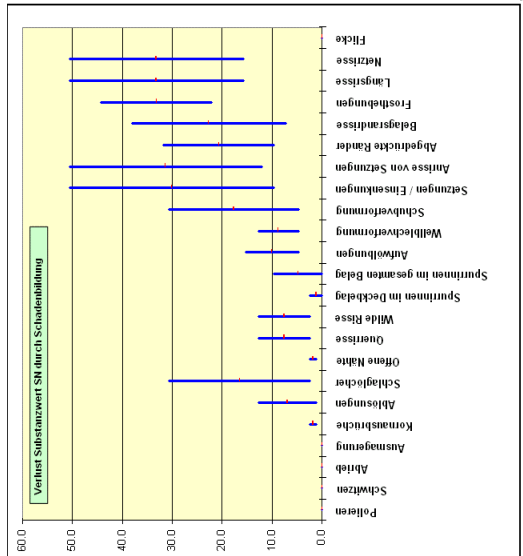
Nachweise



Keine Zusammenhänge

Wechselwirkung Oberflächenzustand / Tragfähigkeit
Verlust Substanzwert SN je nach Schadensmerkmale/Schadenschwere

Schadensmerkmale	Schwer		Leicht		Mittelwert	
	Quotient Total SN	Quotient Total SN	Quotient Total SN	Quotient Total SN	Quotient Total SN	Quotient Total SN
Pollen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Schwellen	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Abrieb	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ausmagerung	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kornanbrüche	2,4	1,2	4,8	1,8		
Ablesungen	12,8	7,0	7,0	16,5		
Schlagbecher	30,6	2,4	1,2	1,8		
Offene Risse	2,4	1,2	2,4	7,6		
Querrisse	12,8	2,4	2,4	7,6		
Wilde Risse	12,8	2,4	2,4	7,6		
Spurrinnen im Deckbelag	2,4	0,0	1,2	4,8		
Spurrinnen im gesamten Belag	9,6	0,0	4,8	10,1		
Aufwölbungen	15,3	4,8	8,8	17,7		
Weilblechverformung	12,8	4,8	8,8	30,1		
Schubverformung	30,6	4,8	17,7	31,4		
Setzungen / Einsenkungen	50,6	9,6	20,7	22,7		
Anrisse von Setzungen	50,6	12,1	22,7	33,2		
Abgedrückte Fächer	31,7	9,6	22,7	33,2		
Kälteanrisse	38,1	7,3	22,7	33,2		
Frosthebungen	44,2	22,1	33,2	33,2		
Längsrisse	50,6	15,9	33,2	33,2		
Netzrisse	50,6	15,9	33,2	33,2		
Ricke	0,0	0,0	0,0	0,0		

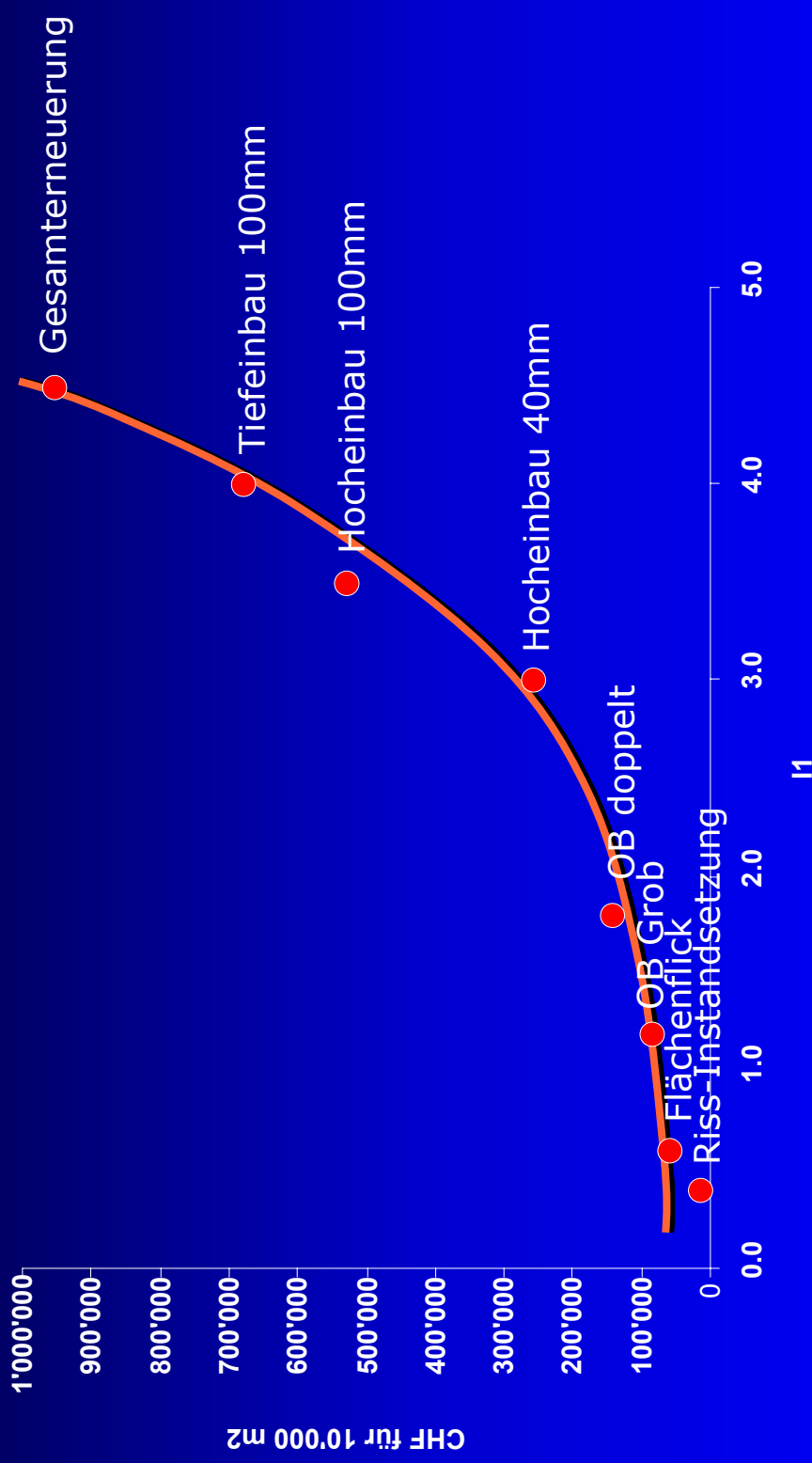


Neuer theoretischer Ansatz
SN-Wertverlust/-gewinn



FP VSS 2004/710-715

EP3 Oberflächenschäden <-> Tragfähigkeit



FP Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen
EP VSS 204/713 - Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit
sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchswert und Substanzwert



SACR

Auswirkungen der Schadenbildung und der standardisierten Massnahmen auf SN-Wert

SN – ABNAHME
durch zunehmende
Schadenbildung



SN – ZUNAHME
durch standardisierte
Massnahme



Welche Massnahmen für welche Schadenbilder ?



FP VSS 2004/710-715



Einzelprojekt 4

Gesamtnutzen

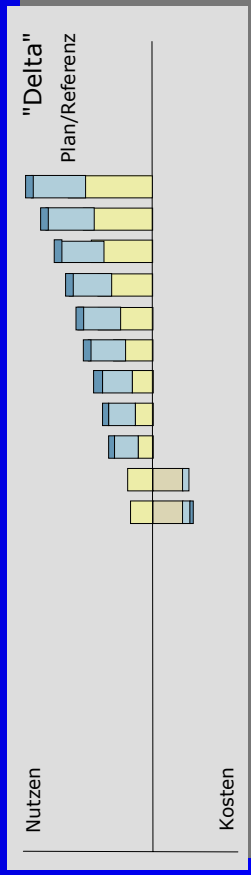
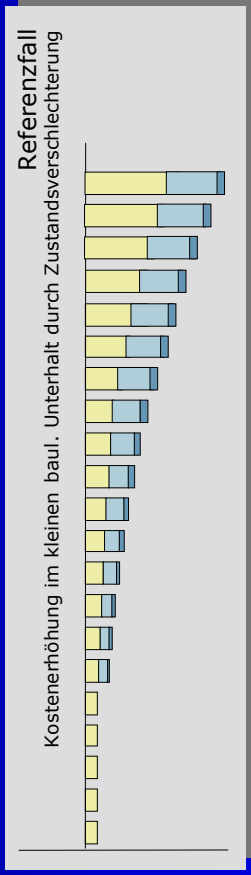
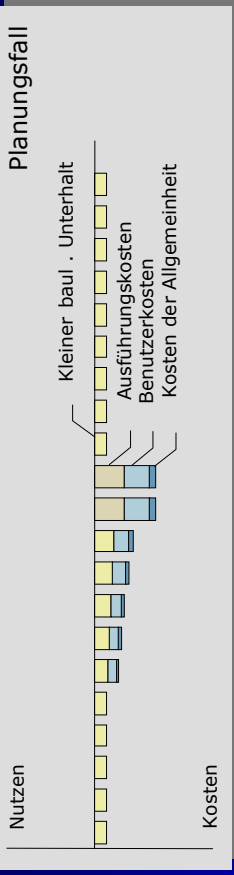
Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten

Massnahmen der Fahrbahnerhaltung



FP VSS 2004/710-715

EP4 Gesamtnutzen / Nutzen-Kosten-Verhältnis



Ziele

Ausschreibung

- > Erarbeiten Grundlagen für Bestimmung des monetären Gesamtnutzens von Erhaltungsmaßnahmen
- > Ableiten der Nutzen-Kosten-Verhältnisse für standardisierte Erhaltungsmaßnahmen
- > Katalog von Nutzenkriterien
- > Nutziesserguppen
- > Kurz- und langfristiger Nutzen
- > Monetäre Quantifizierung, "Nutzenansätze"/ Kennzahlen
- > Grundlagen für Normentwurf

Erwartete

Resultate

Einflussfaktoren

Kosten - Nutzerkosten (direkt)

- > Zeitkosten (Personen und Güter, Staurisiken)
- > Treibstoff
- > Übrige fixe und variable Fahrzeugkosten
- > Maut
- > Unfälle

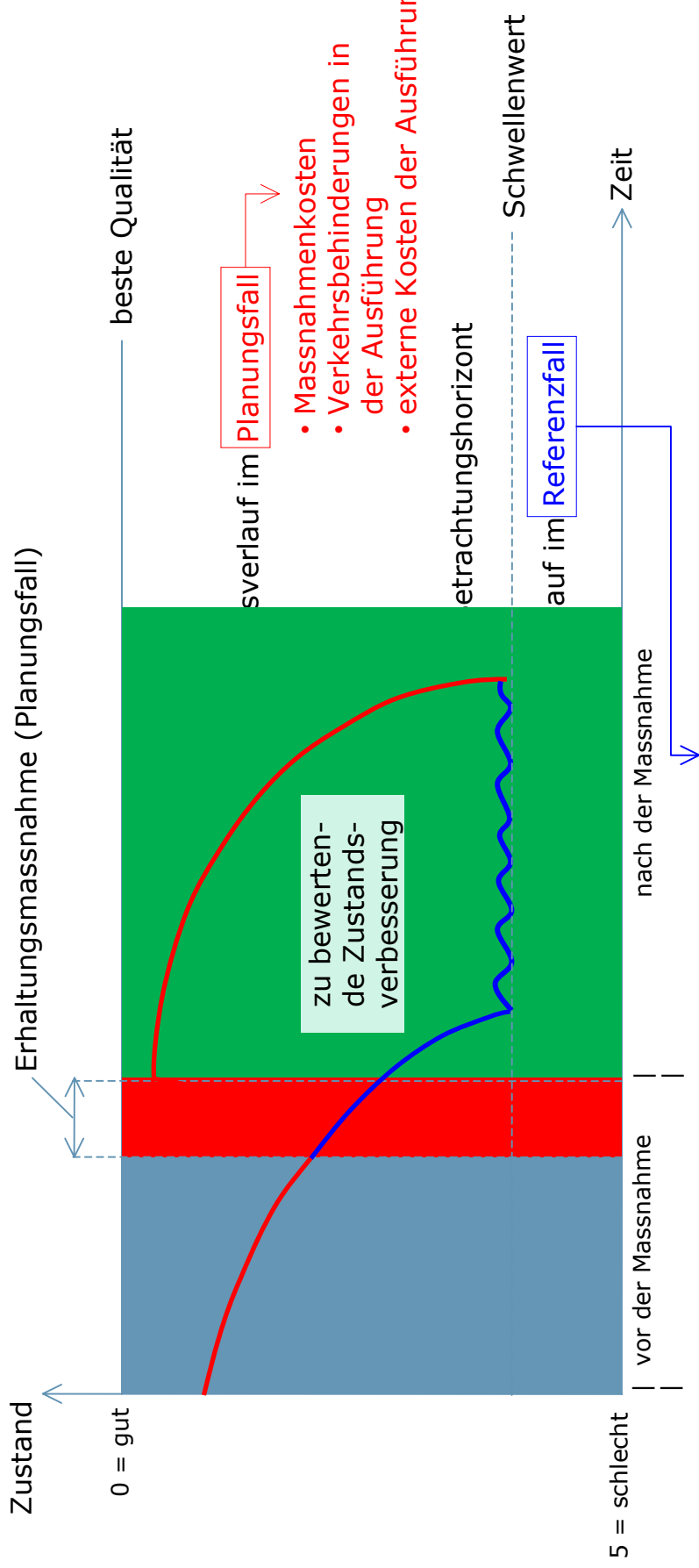
Betreiberkosten

- > Betriebliche Unterhaltskosten
- > Kosten der Erhaltungsmaßnahme (aus EP1)

Kosten der Gesellschaft

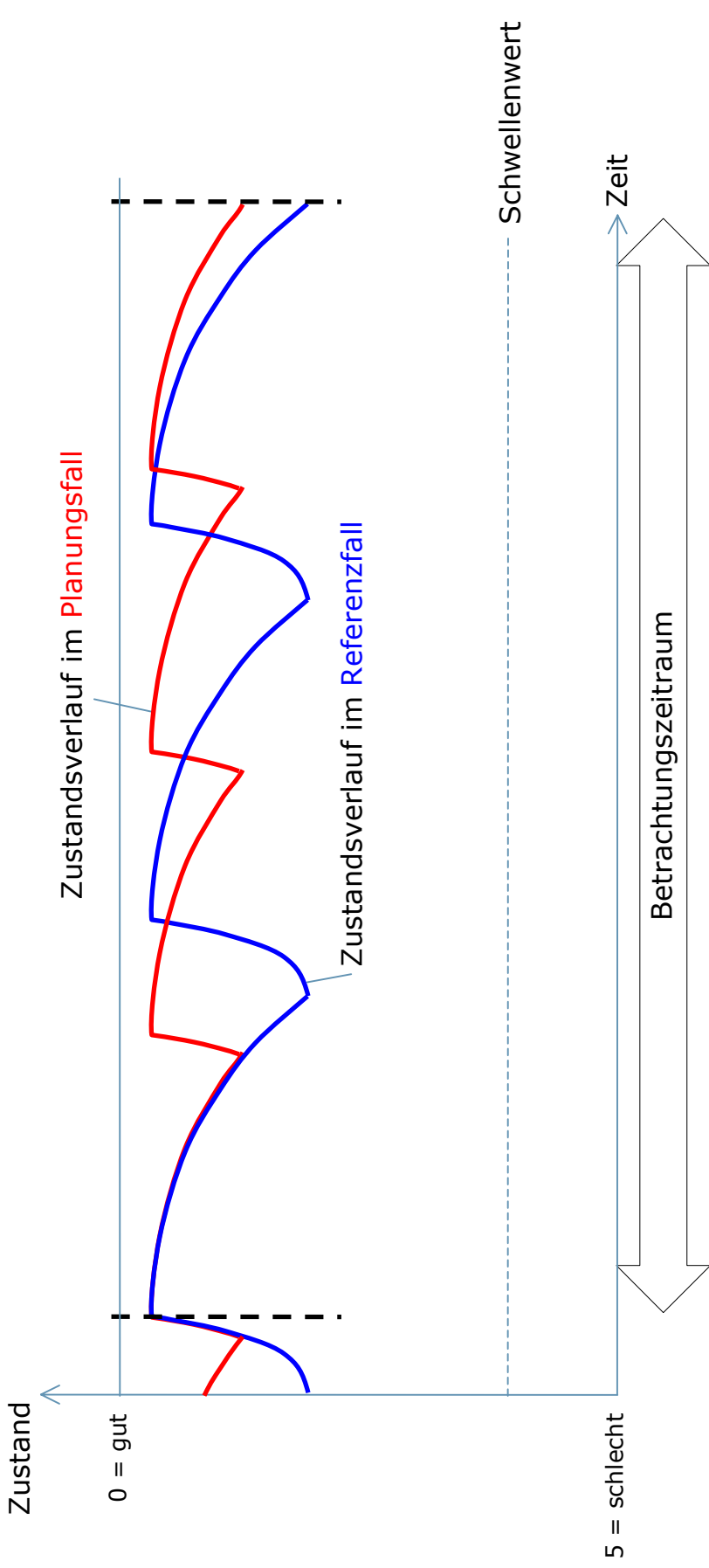
- > Emissionen: Schadstoffe (CO2, NOx, PM10), Lärm

Bewertungsgrundsatz für die Forschungsarbeit: Vergleich Erhaltungsmassnahme (Planungsfall) mit "Nichtstun" (Referenzfall)



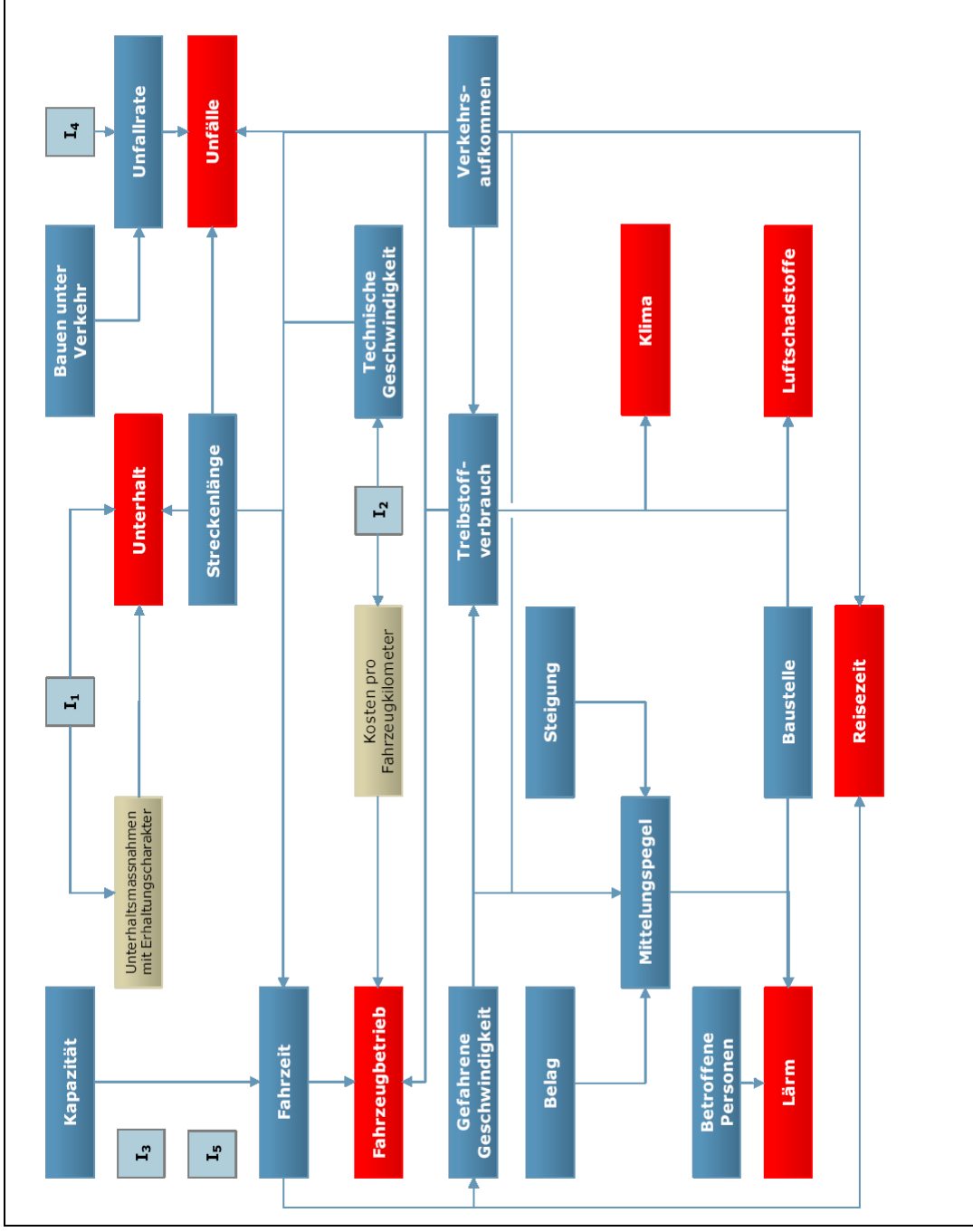
- höhere Kosten des betrieblichen Unterhalts (v.a. kleine bauliche Reparaturen)
- längere Reisezeit (zB wenn die Geschwindigkeit wegen schlechtem Fahrbahnzustand beschränkt wird)
- höhere Fahrzeugbetriebskosten (zB wegen höherem Fahrzeugverschleiss)
- schlechterer Fahrkomfort
- grössere Unfallgefahr
- externe Kosten (zB wegen mehr Verkehrslärm auf schlechterer Fahrbahn)

In der Realität: Vergleich von Erhaltungsstrategien → Link zu EP 5



- **Planungsfall z.B.:** Häufigere, dafür billigere und rascher realisierbare Massnahmen
- **Referenzfall:** Auch hier ist die Fahrbahn weit von wirklich schlechtem Zustand entfernt

Übersicht über die Berechnung des Gesamtnutzens von Fahrbahnerhaltungsmaßnahmen





FP VSS 2004/710-715

Einzelprojekt 5

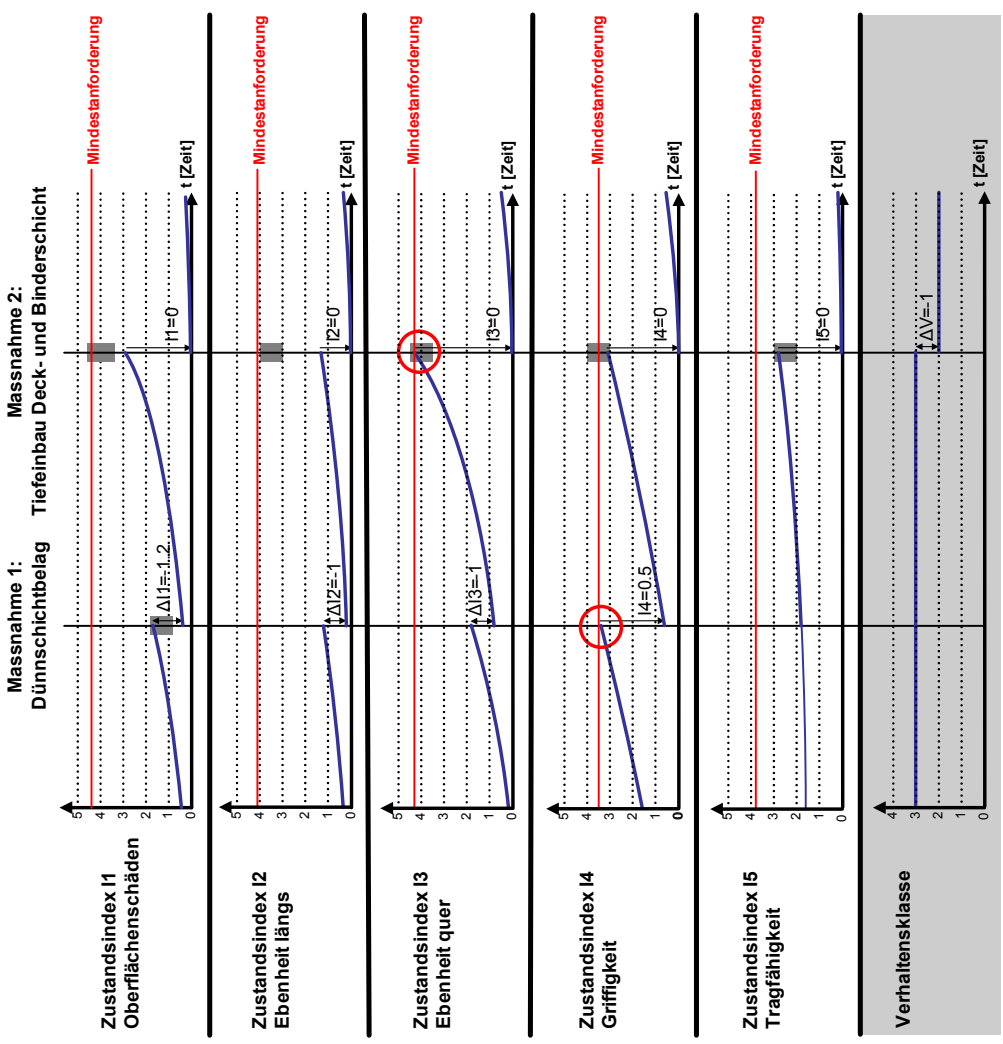
Zusatzkosten infolge Vor- oder Aufschub von
Erhaltungsmassnahmen

Ziele des Forschungsprojekts

- **Quantifizierung der Zusatzkosten durch Vor- oder Aufschub von Erhaltungsmaßnahmen**
- **Bereitstellung eines Instruments zur Beurteilung der langfristigen Konsequenzen von Entscheidungen im Strassenunterhalt**
 - **strategische Erhaltungsplanung**
- **Lebenszyklusorientierte deterministische und probabilistische Simulation verschiedener Erhaltungsvarianten**

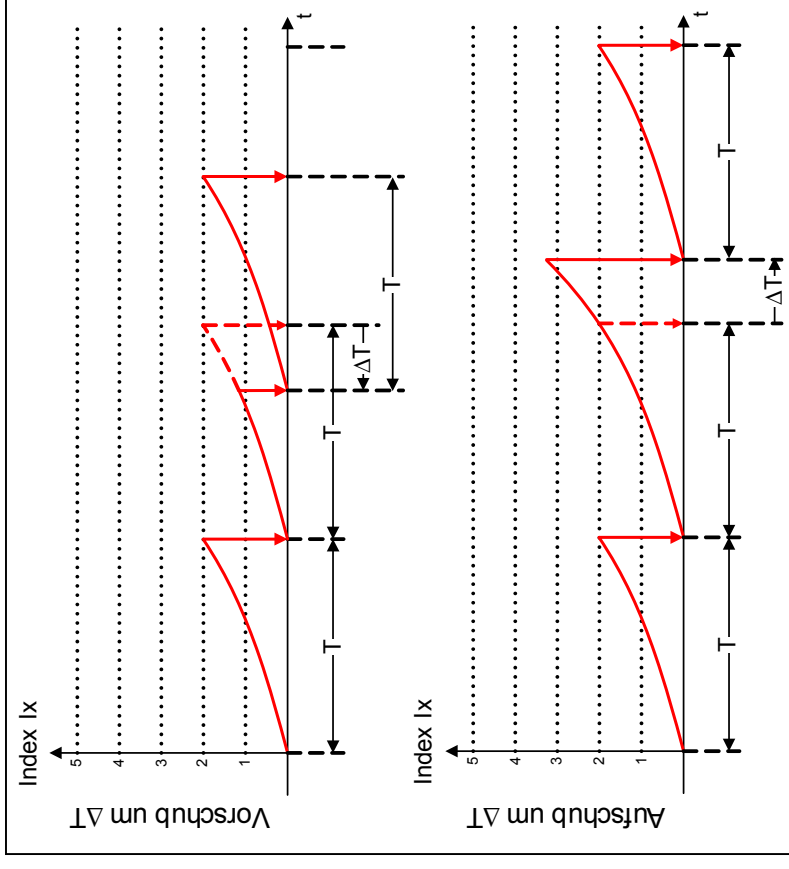
Variante definition - Abschnittsbildung

Strassenabschnitt			Stadt B	Stadt C
	A	100	150	225
Kilometrierung [km]	1	2	3	
	A_1^1	A_1^2	A_1^3	
Zustandsbereiche Fahrbahn 1	100	125	200	250
Zustandsmerkmale: Oberflächenschäden - I1 Ebeneheit längs - I2 Ebeneheit quer - I3 Griffigkeit - I4 Tragfähigkeit - I5	2	1	4	
	3	1	3	
	3	2	3	
	2	1	4	
	2	2	2	
Verhaltenskurven: Oberflächenschäden - I1 Ebeneheit längs - I2 Ebeneheit quer - I3 Griffigkeit - I4 Tragfähigkeit - I5				



Variantendefinition - Zeitliche Verschiebung einzelner Massnahmen

- Eine einzelne Massnahme wird vom geplanten Zeitpunkt nach vorne oder hinten verschoben.
- Mögliche Gründe:
 - Finanzielle Zwänge
 - Auslastung des eigenen Personals
 - Synergieeffekte mit anderen Massnahmen
- Zusatzkosten durch:
 - Zum späteren Zeitpunkt aufwendigere Ausführung
 - Geringer Nutzen bei verfrühter Ausführung





FP VSS 2004/710-715

Erwartete/erreichte Hauptresultate

EP 1 Standardisierte Erhaltungs-massnahmen	<ul style="list-style-type: none">- Standardhaltungsmassnahmen CH- Je Massnahme Kennzahlen (Kosten, Wirkung, Lebensdauer)	<ul style="list-style-type: none">- Auswahl standardisierte ErhMassnahmen CH- Eignung, Rücksetzwert, Wirkung, Kosten
EP 2 Schadensprozesse und Zustandsverläufe	<ul style="list-style-type: none">- Verlaufskurven für Schäden in Abhängigkeit der Lebensdauer- Verläufe für i.o., a.o.	<ul style="list-style-type: none">- Verlaufskurven für Zustandsgrössen (f(Alter))- Verhaltensmodelle NS/KS/GS für IAX, I2, I3, I4
EP 3 Oberflächenzustand und Tragfähigkeit	<ul style="list-style-type: none">- Einfluss Oberflächenschäden auf die Tragfähigkeit- Quantifizierung des Einflusses	<ul style="list-style-type: none">- Strukturwertverlust ΔSN in Abh. von Schadensmerkmal/-schwere- Substanzgewinn ΔSN infolge stand. ErhMassnahmen
EP 4 Gesamtnutzen, Nutzen-Kostenverhältnisse	<ul style="list-style-type: none">- Nutzen und Nutzenkomponenten nach Strassenbetreiber, Strassennutzer, Dritte- Monetäre Quantifizierung relativer Nutzen im Vergleich zum Referenzfall (betr. Unterhalt)	<ul style="list-style-type: none">- Relevanz der Einflussgrössen zur Bestimmung relativer Nutzen nach Betreiber/Nutzer/Dritte- Kosten Unterhalt, Reisezeit, Fzgbetrieb, Unfall, Lärm, CO2
EP 5 Zusatzkosten infolge Aufschub der Realisierung	<ul style="list-style-type: none">- Gesamtkosten für Aufschub oder Vorschub von Massnahmen- Optimale Realisierungszeitpunkte	<ul style="list-style-type: none">- Relativkosten für Auf-/Vorschub von ErhMassnahmen- Verfahren zur Bestimmung optimaler Realisierungszeitpkt. bestimmter ErhMassnahmen



Ausblick

- Grundlagen vorhanden
- Umsetzung der Resultate in die Praxis
- Normierung VSS
- Weiterer Forschungsbedarf



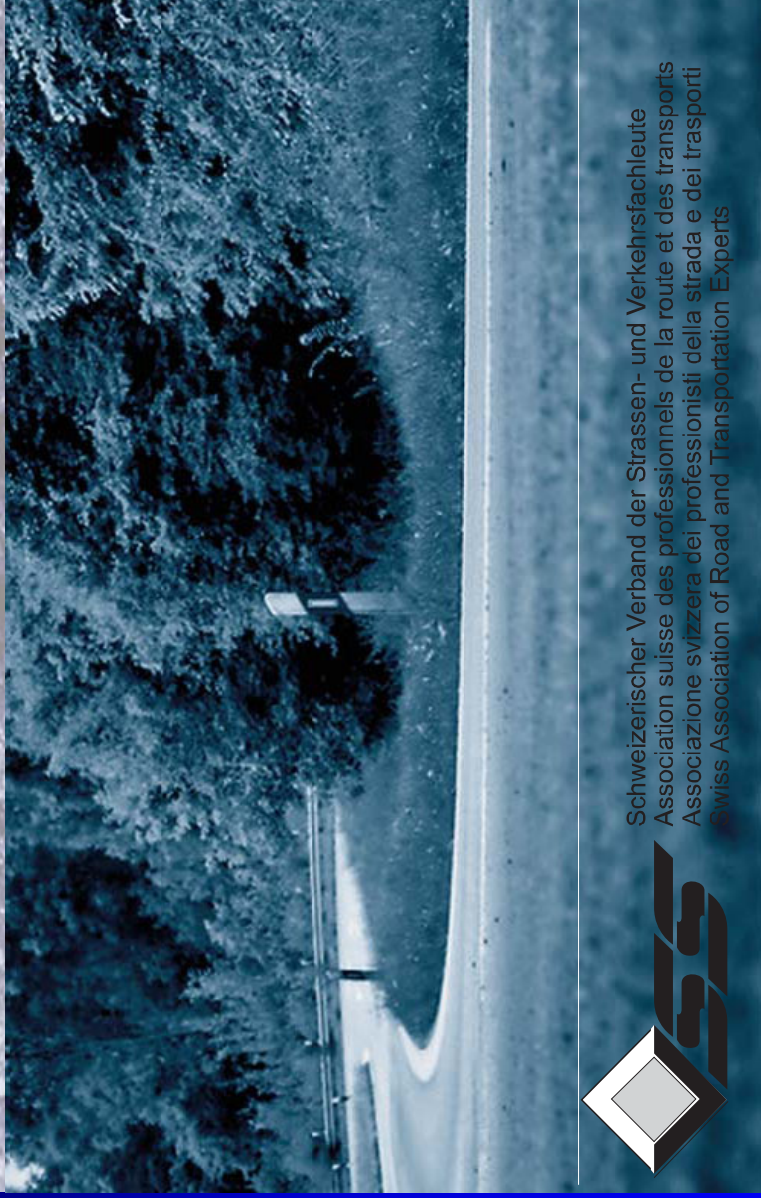
FP VSS 2004/710-715

Tagung

Fachtagung

Neuorientierung des Strassenunterhalts in der Schweiz

4. November 2008
Stadttheater Olten



Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute
Association suisse des professionnels de la route et des transports
Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti
Swiss Association of Road and Transportation Experts