

Leitfaden zur Verbesserung der Resilienz von Straßentunneln

Ergebnisse des Forschungsprojekts RITUN

Dipl.-Ing. Harald KAMMERER, MSc
ILF Consulting Engineers Austria

4. Deutscher Tunnelkongress
Ernst-Abbe-Hochschule, Deutschland
22. und 23. September 2021



1. Forschungsprojekt

Projektetails

Projektdauer

09/2018 – 08/2020

Projektpartner



Zusammenarbeit und Erfahrungsaustausch mit Betreibern

Autobahndirektion
Südbayern



Autobahndirektion
Nordbayern



Straßen.NRW.



AS|FI|N|AG



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Resiliente Straßentunnel (RITUN)

Motivation

Die über 270 Tunnelbauwerke sind wichtige Elemente des bundesdeutschen Fernstraßennetzes. Durch ihre Verbindungsfunktion schaffen sie die Voraussetzung für individuelle Mobilität, die Versorgung von Privathaushalten und der Wirtschaft. Die Sperrung eines Tunnels verursacht hohe volkswirtschaftliche Schäden und lange Staus. So musste eine Röhre des Tunnels Königshäuser Berge im Zuge der A4 nach dem Brand eines LKW für fünf Monate gesperrt werden. Die Sanierung des Tunnels kostete rund 2 Mio. Euro. Die Umleitungsstrecke wurde für weitere 6 Mio. Euro saniert.

Ziele und Vorgehen

Das Ziel von RITUN besteht in der Steigerung der Widerstandsfähigkeit von Straßentunneln gegenüber äußeren Einflüssen sowie in der schnellen Wiederinbetriebnahme nach Schadensereignissen. Nach einer Erfassung und Bewertung der verkehrlichen Auswirkungen wird eine Methodik zur Beurteilung der verbleibenden Leistungsfähigkeit von Tunneln im Ereignisfall entwickelt. Parallel dazu erfolgt die Erarbeitung baulicher, betriebstechnischer und organisatorischer Maßnahmen, die zur Aufrechterhaltung eines definierten Verkehrsniveaus nach einem Ereignis beitragen. Abschließend werden die entwickelten Methoden in einem Neubauprojekt getestet.

Innovationen und Perspektiven

Im Rahmen des Projekts entsteht ein Softwarewerkzeug, mit dem die Resilienz von Tunneln abgeschätzt werden kann. Zudem werden Maßnahmen erarbeitet, mit deren Hilfe sich die Betreiber auf mögliche Schadensfälle vorbereiten können. Dies führt bei massiven Störungen zu einer Steigerung der Verfügbarkeit von Tunnelbauwerken und damit des umgebenden Straßennetzes.



Die Sperrung eines Straßentunnels führt schnell zu einer Überlastung von Ausweichstrecken. (Quelle: © panthermedia.net/Catrina Hansen)

Programm:
Forschung für die zivile Sicherheit
Bekanntmachung: „Aneinander - Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit“
Gesamtwertung:
400.000 €
Projektdauer:
09/2018 – 08/2020
Projektpartner:
Bundesrat für Straßenwesen (BRS), Bergisch Gladbach
ILF Beratende Ingenieure GmbH, München
Assoziierte Partner:
Autobahndirektion Südbayern, München
Verbandesdirektor:
Ulrich Bergenhäuser
Bundesrat für Straßenwesen
E-Mail: bergenh@vaw.rwth-aachen.de

Ziele und Nutzen

- Erhöhung der **Sicherheit und Verfügbarkeit** von Straßentunneln
- Erhöhung der **Resilienz** von Straßentunneln gegenüber äußeren Einflüssen
- Definition **minimaler Betriebsbedingungen**
- Identifizierung und Entwicklung von technischen, betrieblichen und organisatorischen **Resilienzmaßnahmen**
- **praxisnah und anwenderorientiert** durch Zusammenarbeit mit Tunnelbetreibern

Struktur und Aufbau

Identifizierung potentieller Bedrohungen und Schadensszenarien



Auswirkungen von Schadensszenarien auf Tunnelbetrieb und Verkehr:

- minimale Betriebsbedingungen
- lokale und regionale Auswirkungen



Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz:
Kategorisierung, Bewertung und Maßnahmenauswahl

Resilienz

Resilire: zurückspringen, abprallen

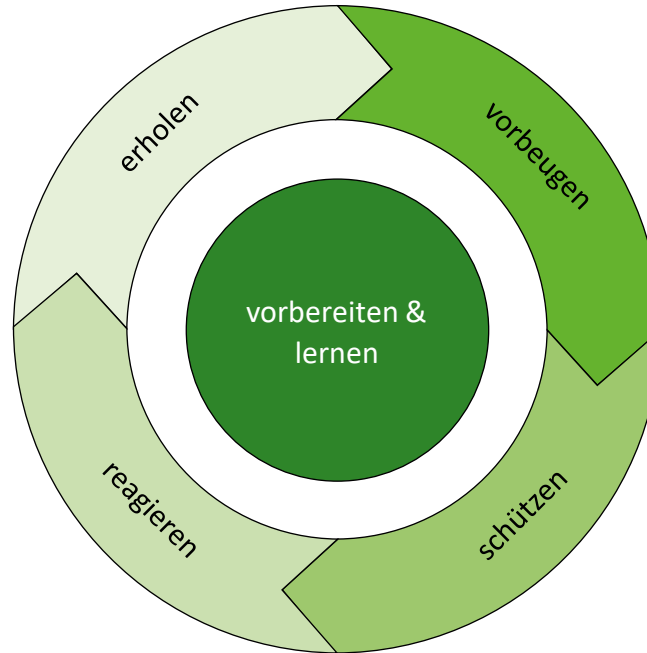
Physikalische Fähigkeit eines Körpers nach seiner Verformung in seinen ursprünglichen Zustand zurückzukehren.

Straßentunnel:

Resilienz ist die Fähigkeit, sich auf disruptive Ereignisse vorzubereiten, sie einzukalkulieren, sie abzuwehren, Auswirkungen zu verkraften, sich möglichst schnell davon zu erholen und sich ihnen immer erfolgreicher anzupassen.

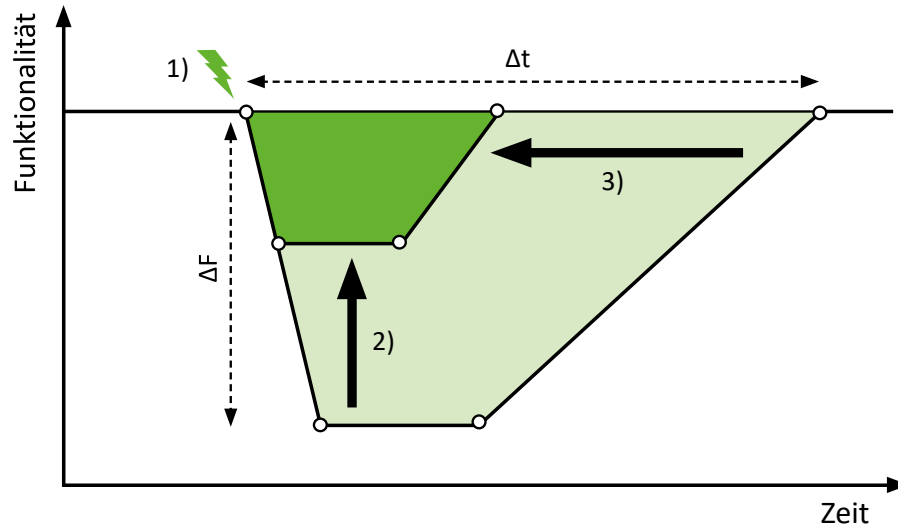
in Anlehnung an: Thoma, K. (Hrsg.), Resilience-by-Design: Strategie für die technologischen Zukunftsthemen, acatech STUDIE (April 2014)

Resilienzkreislauf



in Anlehnung an: Bruneau, M., Chang, S., Eguchi, R., Lee, G., O'Rourke, T., Reinhorn, A., et al. (2003).
A Framework to Quantitatively Assess and Enhance the Seismic Resilience of Communities.
In Earthquake Spectra, Volume 19 (S. 733–752). Earthquake Engineering Research Institute.

Wirkung von Resilienzmaßnahmen



- 1) reduzieren der **Eintrittshäufigkeit** disruptiver Ereignisse
- 2) verringern des **Funktionalitätsverlustes ΔF**
- 3) verkürzen der **Dauer Δt** bis zur Rückkehr zur ursprünglichen Funktionalität

in Anlehnung an Deublein, M., Roth, F., Bruns, F., & Zulauf, C. (2018). Reaktions- und Wiederherstellungsprozesse für die Straßeninfrastruktur nach disruptiven Ereignissen (FE 89.0330/2017). Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt).

Bedrohungen

Identifizierung nach dem
All-Hazard-Ansatz

- Naturgefahren
- vom Menschen verursacht
- Sonstige



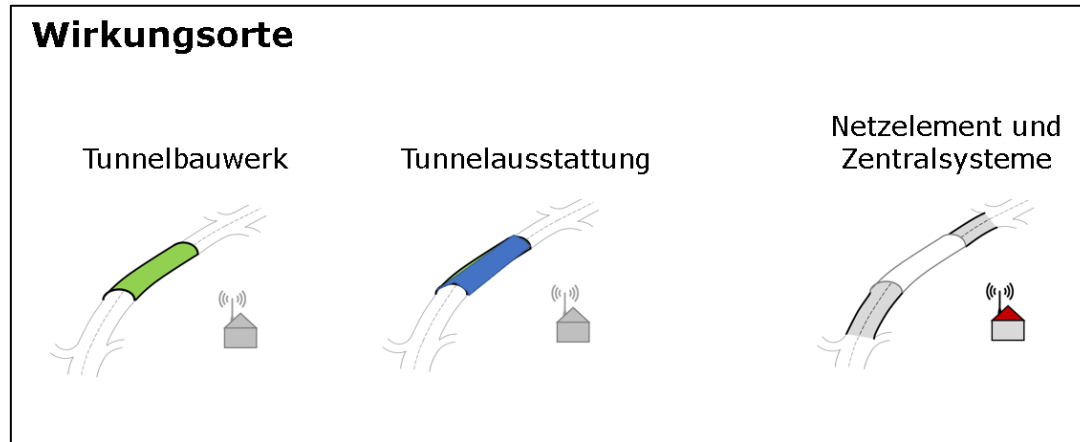
Schadensszenarien

- baulich
- betriebstechnisch
- versperrend

weitere Betrachtung bedrohungsunabhängig,
auch schleichend eintretende Schäden

Wirkungsorte

- Tunnelbauwerk
- Tunnelausstattung
- Netzelement (in dem sich der Tunnel befindet)
- Zentralsysteme (z.B. Tunnelleitzentrale, Betriebsgebäude, Energieversorgung)



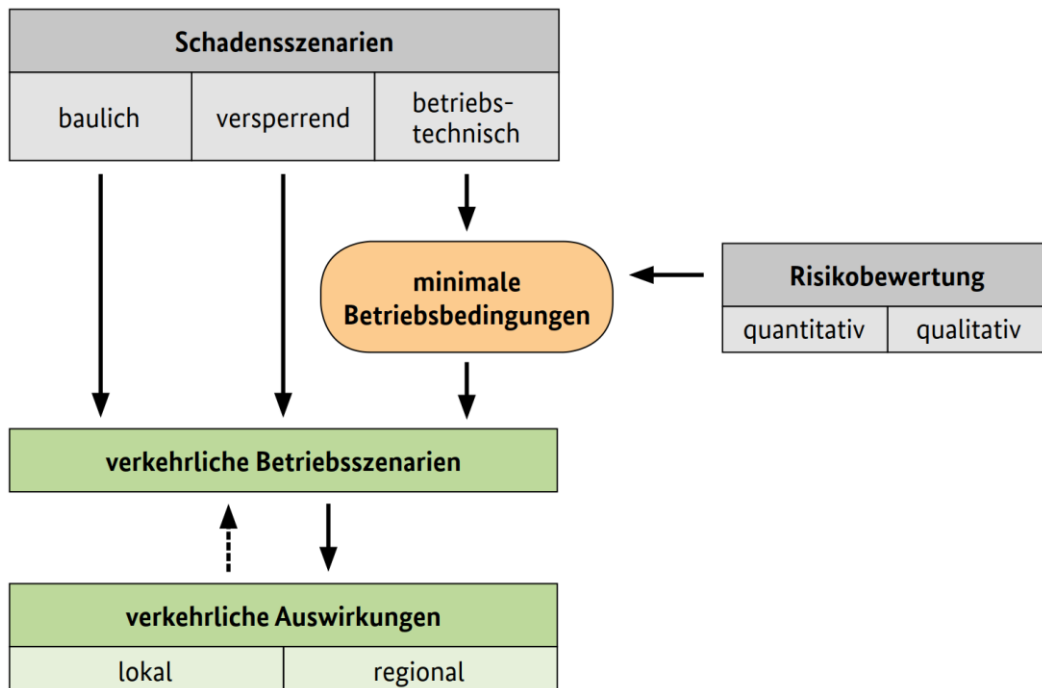
3. Methodik & Herangehensweise

Bedrohungs-Schadens-Matrix

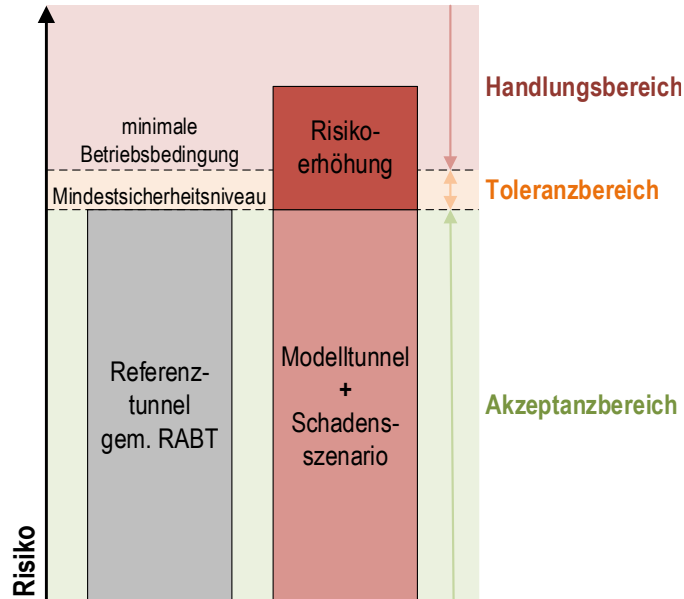
Kategorie	System	Komponente	#/All Trahn	Bedrohung																																		
				Naturgefahren										vom Mensch verursacht		Sonstige																						
				meteorologisch			geophysikalisch		gravitationsbedingt			hydrologisch																										
				01	02	03	06	08	14	15	16	18	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	41	42	43	44, 47	46	48	49	50	35	36	40			
				Sturm	Starkregen	Extremer Schneefall	Sturmflut	Blitzschlag	Erdbeben	Bodenverformung, -verschiebung	Bodensenkung	Erdfall	Schneelawine	Murgang	Hangmuren	Tiefreichende Hangbewegung	Steinschlag	Felssturz	Bergsturz	Fluss-, Seehochwasser	Sturzflut	Stadhochwasser	Grundhochwasser	Gletscherstut/Wasserausbruch	Explosion	Brand	Blockade	zu große Fahrzeugmassen/Rahmen	Freisetzung von Gefahrstoffen	Sabotage/Vandalismus	Diebstahl	Cyber-Attacke	umgestürzte Bäume	Flächenbrand	Stromausfall			
baulich	Bauwerk	einzelne Tunnelröhre																																				
		alle Tunnelröhren																																				
	Bauteil	Innenschale																																				
		Zwischendecke																																				
		Auskleidung																																				
Fahrbahn	Fahrbahn																																					
ver-sperrend	Fahrbahn	Fahrbahn																																				

- Tunnelbauwerk inkl. Vorportalbereich
- Tunnelausrüstung inkl. Vorportalbereich
- zentrale Anlagen
- Netzelement

Minimale Betriebsbedingungen



Minimale Betriebsbedingungen

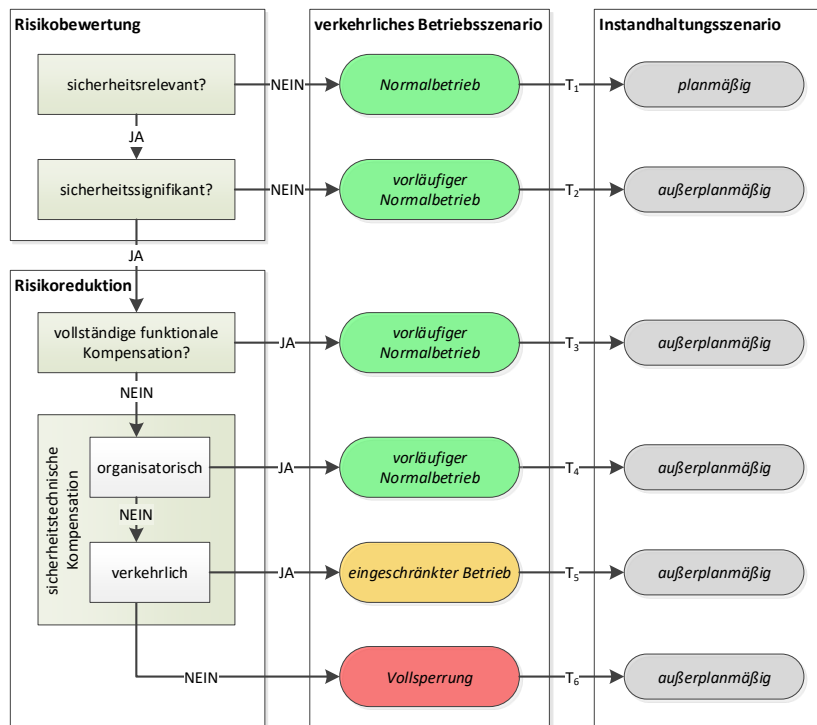


Definition minimaler Betriebsbedingungen

- Bewertung des Einflusses von Schadensszenarien auf die Personensicherheit
- Einsatz qualitativer & quantitativer Risikoanalysen

Minimale Betriebsbedingungen

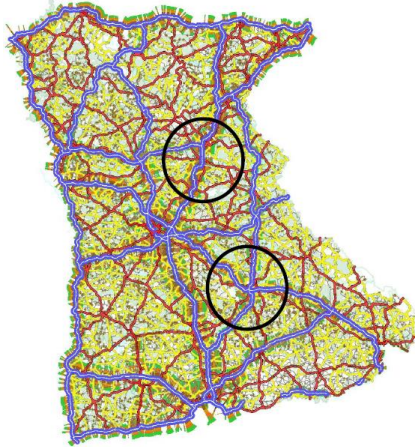
Risikoreduzierende Maßnahmen nach einem Ereignis



Methodischer Ablauf zur Bewertung von Schadensszenarien

- Sicherheitsrelevanz
- Sicherheitssignifikanz
- Funktionale Kompensation
- Sicherheitstechnische Kompensation

Verkehrliche Auswirkungen auf der Netzebene



Einhausung Bayreuth

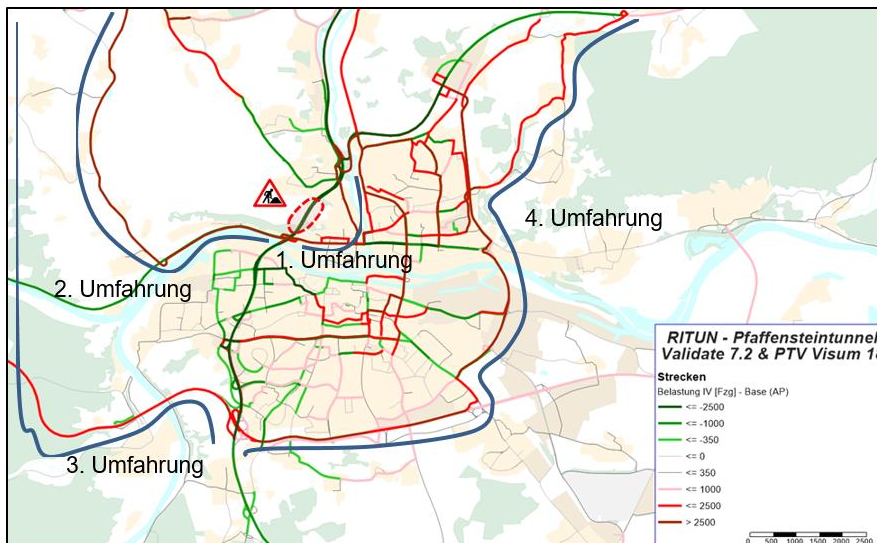


Tunnel Pfaffenstein, Regensburg

Verkehrliche Auswirkungen auf der Netzebene

verkehrliches Betriebsszenario		Schemaskizze	Kapazität (%)	
Bezeichnung			↓	↑
Normalbetrieb	2n + 2n		100	100
Geschwindigkeitsreduktion 60 km/h	2n + 2		100	100
Geschwindigkeitsreduktion 40 km/h	2n + 2		100	90
Sperre eines Fahrstreifens, Geschwindigkeitsreduktion	2n + 1		100	40
Sperre einer Röhre, GV-Betrieb in 2. Röhre 1:1	2 + 0		40	40
Sperre einer Röhre, GV-Betrieb in 2. Röhre 2:1	3 + 0		100	40
Sperre einer Röhre, RV-Betrieb in 2. Röhre	2n + 0		100	0
Sperre einer Röhre, alternierender RV in 2. Röhre	2 + 0		35	35
Vollsperrung	0 / 0		0	0

LOKAL



REGIONAL



Tunnel Pfaffenstein Ausfall Röhre Richtung Süden
 gesamtwirtschaftliche Kosten:
 ~ **320.000 € pro Tag**

Resilienzmaßnahmen

Brandereignisse in österreichischen Straßentunneln



Gleinalmtunnel 2018

- 2 Monate Sperre
- schwere Schäden an Bauwerk und Ausrüstung
- kein Personenschaden
- Sanierung 2,5 Mio. €
- Mautentgang mehr als 3 Mio. €



Arlbergtunnel 2019

- wenige Stunden Sperre
- kein Personenschaden
- keine Schäden trotz potentiell ähnlicher Brandlast durch automatische Brandbekämpfungsanlage

Auswahl geeigneter Resilienzmaßnahmen

Verfügbarkeit		Wechselwirkungen				Bestand			Neubau		
Prävention	Mitigation	Sicherheit	objekt- über- greifend	tunnel- über- greifend	bedrohungs- über- greifend	Realisier- barkeit	Kosten	empfohlen	Realisier- barkeit	Kosten	empfohlen
● ● ●	● ● ●	● ● ●	J / N	J / N	J / N	● ● ●	● ● ●	J / N	● ● ●	● ● ●	J / N

- Maßnahmen wurden anhand eines einfachen Schemas bewertet
- anwenderorientiert durch die Unterscheidung zwischen Bestands- und Neubautunneln

Auswahl geeigneter Resilienzmaßnahmen

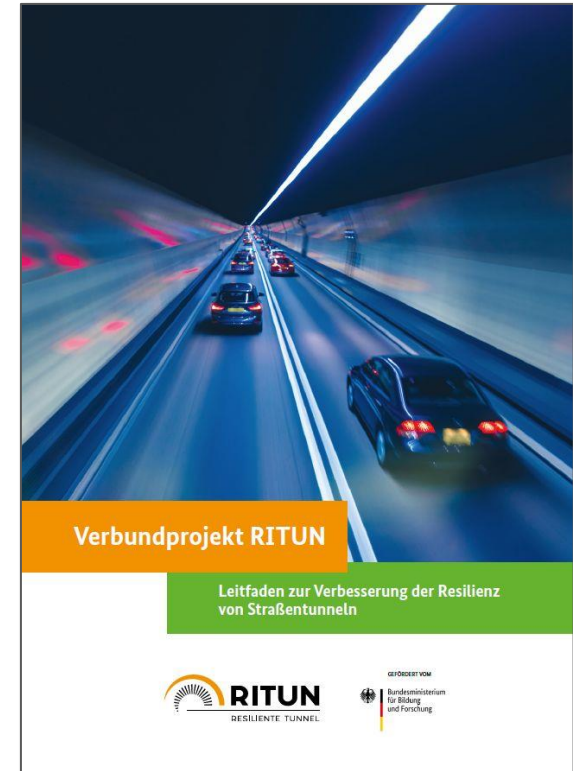
#	Maßnahme	Verfügbarkeit		Synergieeffekte				Bestand			Neubau		
		Prävention	Mitigation	Sicherheit	objektübergreifend	tunnelübergreifend	bedrohungsübergreifend	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen
P1	Überwachen und Erhalten des technischen Zustands												
P1-01	optimierte Wartungsintervalle	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P1-02	Einführung eines Anlagengesundheitssystems	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P1-03	Instandhaltungs- und Wartungsmanagementsystem (über die Empfehlungen der RABT hinaus)	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P1-T1	Installation zusätzlicher Sensoren zur Überwachung des technischen Zustands	●	●	●				●	●		●	●	
P2	Verhindern disruptiver Ereignisse												
P2-01	Zugriffsregelung für Bestandsunterlagen	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P2-02	Beschränkung für Gefahrguttransporte	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-03	Gefahrenanalyse	●	●	●	N	N		●	●		●	●	
P2-04	Expositionsanalyse	●	●	●	N	N		●	●		●	●	
P2-05	Vereinbaren von Verfügbarkeitswerten mit Dienstleistern, z.B. Strom, Datenanbindung, Wasser	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P2-T1	Pegelstandmonitoring	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T2	The mosaic mnr	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T3	Lawinerverbauung	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T4	Steinschlagverbauung	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T5	vorbauende Lawinensprengung	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T6	Schneezäun	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T7	höheres Lichtraumprofil	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T8	Gasdetektoren	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P2-T9	Testumgebung für Software-Up dates	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P2-T10	Vermeiden großer Längsneigungen	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P3	Verhindern bzw. Abmildern von Schadenereignissen aufgrund disruptiver Ereignisse												
P3-01	Verwundbarkeitsanalyse	●	●	●	N	N	J	●	●		●	●	
P3-02	physisches Zutrittsmanagement	●	●	●	N	N	J	●	●		●	●	
P3-03	Infektionsschutz	●	●	●	N	J	J	●	●		●	●	
P3-T1	Windschutzpaneele	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	
P3-T2	Windgeschwindigkeitswarnanlage	●	●	●	N	N	N	●	●		●	●	

Details zu allen Maßnahmen in Fact-Sheets zusammengefasst

4. Ergebnisse

1. Leitfaden
2. Bewertungstools
3. Benutzerhandbuch & Anwendungsbeispiel
4. Maßnahmen-Factsheets
5. Tool für die monetäre Bewertung verkehrlicher Auswirkungen durch die reduzierte Verfügbarkeit von Straßentunneln
6. Empfehlungen für die Definition minimaler Betriebsbedingungen

verfügbar auf www.bast.de/ritun



Leitfaden zur Verbesserung der Resilienz von Straßentunneln



Dipl.-Ing. Harald Kammerer
harald.kammerer@ifl.com

Dipl.-Ing. Bernhard Kohl
bernhard.kohl@ifl.com

Dipl.-Ing. Michael Barth
michael.barth@ifl.com

Dipl.-Ing. Bernhard Klampfer
bernhard.klampfer@ifl.com



Dipl.-Ing. Ulrich Bergerhausen
bergerhausen@bast.de

Dr.-Ing. Ingo Kaundinya
kaundinya@bast.de

Dr.-Ing. Selcuk Nisancioglu

