

# IMPROVING THE RESILIENCE OF ROAD TUNNELS UNDER THE PERSPECTIVE OF TUNNEL SAFETY

Results of the research project

Resilient Road Tunnels (RITUN)

Dr.-Ing. Selcuk Nisancioglu  
Dipl.-Ing. Harald Kammerer

TUNNEL SAFETY AND VENTILATION  
Graz, AUSTRIA  
December 01, 2020



# Content

1. Research project
2. Basics
3. Examinations
4. Results

# 1. Research project

## Project details

### Funding

Federal Ministry of Education and Research (BMBF)  
„Research for civil security“

### Project duration

09/2018 – 08/2020

### Projectpartner

- Federal Highway Research Institute (BAST)
- ILF Consulting Engineers, Munich and Linz (A)
- Bavarian State Building Administration– Central Office for Engineering Structures and Geo Risks



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung



**DIE NEUE  
HIGHTECH  
STRATEGIE**  
Innovationen für Deutschland

## 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 Königshamer 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 Überfüllung von Ausweichstrecken. (Quelle: © panthermedia.net/Catrina Hansen)

Programm:  
Forschung für die zivile Sicherheit  
Bekanntmachung: „Anwender – Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit“  
Gesamtvolumen:  
406.000 €  
Projektlaufzeit:  
09/2018 – 08/2020  
Projektpartner:  
Bundesamt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach  
ILF Beratende Ingenieure GmbH, München  
Assoziierte Partner:  
Autobahndirektion Südtirol, München  
Verkehrsplanungs- und  
Umweltplanungsamt  
Ulm  
Bergbauwesen  
Bundesamt für Straßenwesen  
E-Mail: [bergr@bau.nst.bund.de](mailto:bergr@bau.nst.bund.de)

## Supporters



## Project team members

Dipl.-Ing. Michael Barth

Dipl.-Ing. Ulrich Bergerhausen

M.Sc. Amelie Hoffmann

Dipl.-Ing. Harald Kammerer

Dipl.-Ing. Bernhard Klampfer

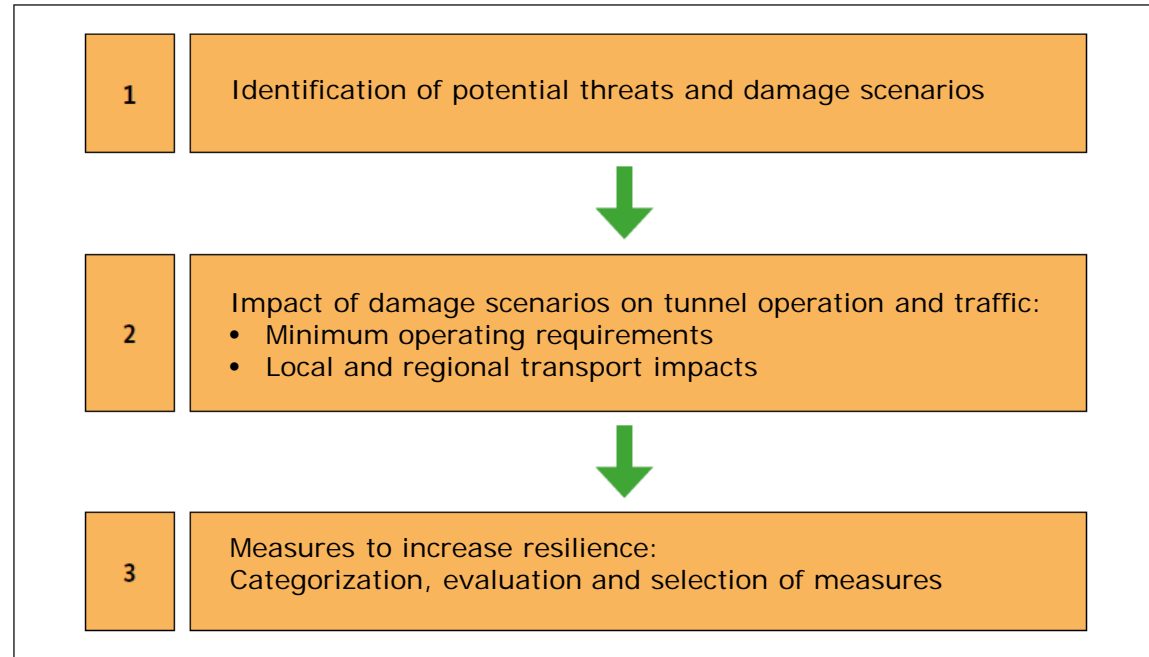
Dipl.-Ing. Bernhard Kohl

Dr.-Ing. Selcuk Nisancioglu

## Objectives and benefits

- Increasing the safety and availability of tunnels
- Increasing the resilience of road tunnels to external influences
- Identification and development of structural, operational and organizational resilience measures

## Approach



### Resilience

Resilire: jump back, bounce off

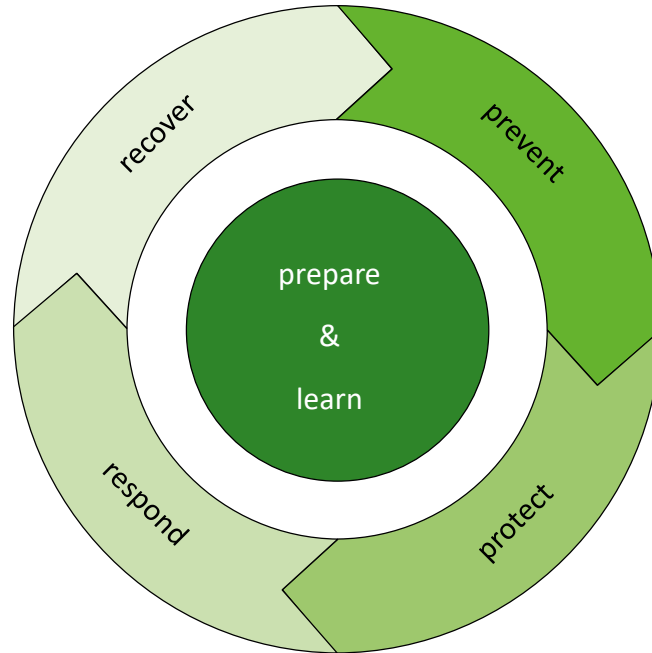
*Physical ability of a body to return to its original form after changing its shape.*

Road tunnels:

Resilience describes a system's ability to take into account, prepare for, repel, recover from and adapt ever more successfully to both familiar and emerging threats.

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

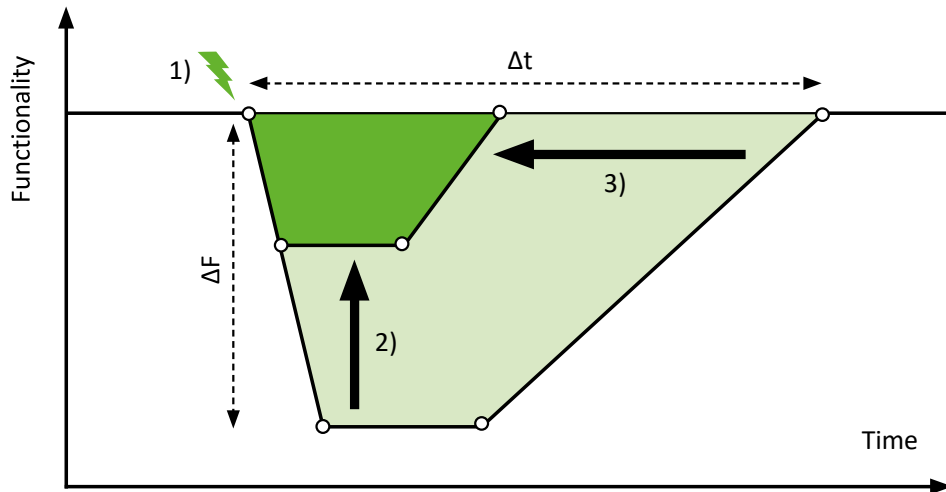
# Resilience cycle



Resilience cycle in reference to: 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.



# Impact of resilience measures



Measures can

- 1) reduce the frequency of occurrence of disruptive events
- 2) reduce the loss of functionality  $\Delta F$
- 3) shorten the time  $\Delta t$  until the original functionality is reached

Effect of resilience measures on the course of the functionality curve \*

\* in reference to 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).

## Threats

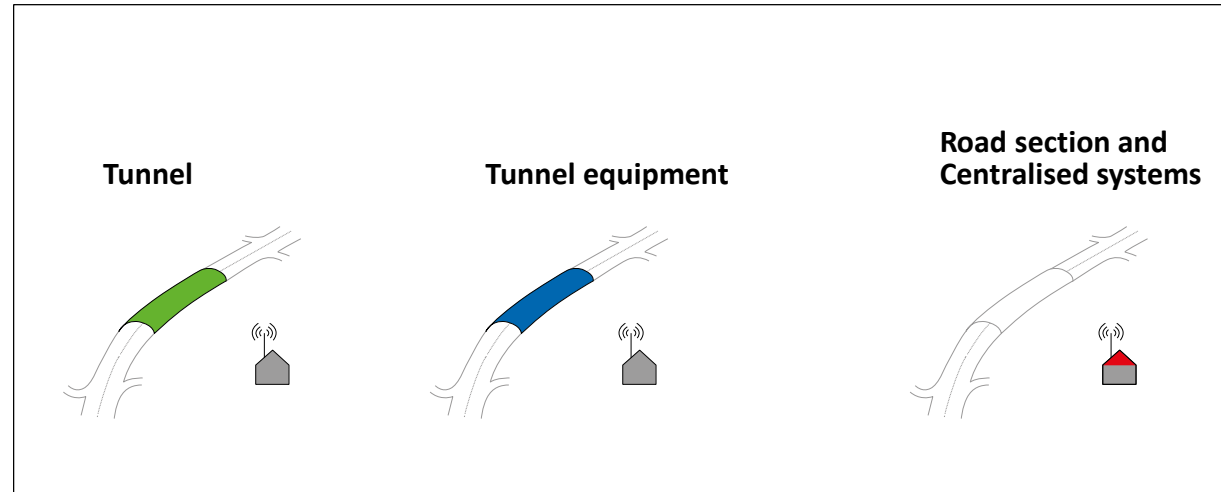
Identification of all threats relevant for tunnels according to the All-Hazard-Approach

The All-Hazard-Approach covers the entire spectrum of potential threats in the context of security precautions.

- Natural Threats
- Man-made threats
- Other

## The points of impact

- Structure
- Equipment
- Road section (in which the tunnel is located)
- Centralised tunnel systems (Tunnel control center, operating building, energy supply)



## Damage scenarios

### **Structural scenarios :**

Damages to the tunnel structure, caused by static, dynamic or thermal loads due to the threats.

### **Operational scenarios:**

Resulting from the loss of function of the safety technology of the tunnel equipment and in central systems.

### **Blocking scenarios:**

Blockage of the tunnel, without the occurrence of immediate damage restriction or interruption of traffic flow and affecting the network element in which the tunnel is located

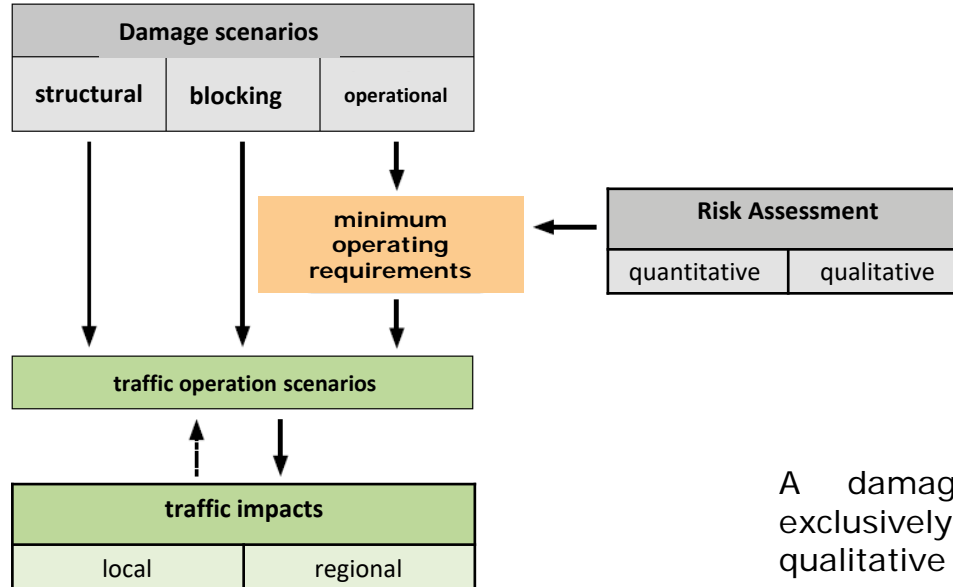
# 3. Examinations

## Result: Threat-Damage-Matrix

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

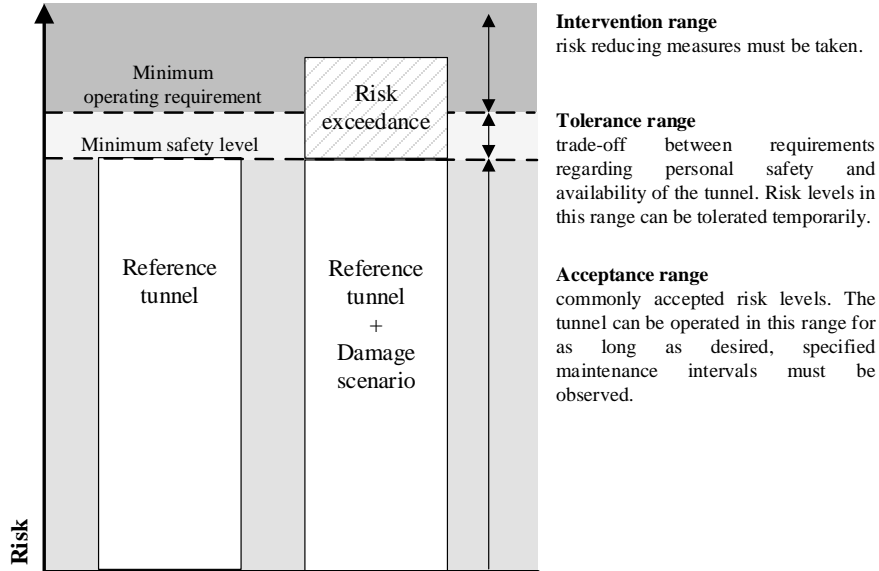
Kategorie	System	Komponente	# All Train	Bedrohung																																
				Naturgefahren																vom Mensch verursacht		Sonstige														
				meteorologisch				geo-physikalisch				gravitationsbedingt				hydrologisch																				
				01	02	03	06	08	14	15	16	18	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	41	42	43	44, 47	46	48	49	50	35	36	40	
baulich	Bauwerk	einzelne Tunnelröhre																																		
		alle Tunnelröhren																																		
	Bauteil	Innenschale																																		
		Zwischendecke																																		
		Auskleidung																																		
		Fahrbahn																																		
ver-sperrend	Fahrbahn	Fahrbahn																																		
		Fahrbahn																																		

## MINIMUM OPERATING REQUIREMENTS (MOR)



A damage scenario's significance is evaluated, exclusively for safety relevant damage scenarios, using qualitative and quantitative methods.

## MINIMUM OPERATING REQUIREMENTS (MOR)



Minimum safety level:

Represents the minimum level of safety to be guaranteed during normal operation and is at the same time the upper limit of the generally accepted risk (acceptance range).

The MOR corresponds to the second threshold value between a range of increased risk which can be tolerated for a limited period of time (tolerance range) and the range of unacceptable risk in which compensation for the risk is inevitably necessary to maintain availability (intervention range).

## MINIMUM OPERATING REQUIREMENTS Risk Mitigation Measures after an Incident

### Functional compensation

The reduction or loss of functionality of the component affected by damage scenario is fully or partially compensated by any remaining redundancies of the component itself or by other systems



## MINIMUM OPERATING REQUIREMENTS Risk Mitigation Measures after an Incident

### Organizational and traffic-related measures

If a sufficient reduction of the risk cannot be achieved by functional compensation, additional safety measures must be taken. Organizational and traffic-related measures can be combined:

- Speed limit
- Consistent control of the average speed
- Truck driving bans
- Driving ban for dangerous goods transports
- Driving ban for cars
- Fire brigade stand-by
- Ongoing control runs

# 3. Examinations

## Result: Effects of damage scenarios on tunnel operation and traffic

#	Schadensszenario				Bewer- bungsmetho- dik	Sicher- heitsre- levanz	Sicher- heitsig- nifikanz	funktionale Kompensation	Anteil	sicherheitstechnische Kompensation		verkehrliches Betriebszenario	Anmerkungen
	Kate- gorie	System	Kompo- nente	Fehlermodus						organisatorische Maßnahmen	verkehrliche Maßnahmen		
1	baulich	Bauwerk	einzelne Tunnel- röhre	Verlust der Stand- sicherheit							Volbsperrung	in der betroffenen Röhre	
2	baulich	Bauwerk	alle Tunnel- röhren	Verlust der Stand- sicherheit							Volbsperrung	in allen Röhren	
3	baulich	Bauteil	Innen- schale	Tragfähigkeit beeinträchtigt							Volbsperrung	in den betroffen- den Röhren	
4	baulich	Bauteil	Innen- schale	Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt, einzelner Fahr- streifen betroffen							Normalbetrieb	in den betroffen- den Röhren	
5	baulich	Bauteil	Innen- schale	Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt, ge- samter Querschnitt							Normalbetrieb	Normalbetrieb bis zur Durchführung der Reparaturarbei- ten, verkehrliches Betriebszenario während der In- standsetzung ergibt sich aus den Platz- anforderungen der Bauarbeiten	
6	baulich	Bauteil	Zwi- schen- decke	Tragfähigkeit be- einträchtigt							Volbsperrung	in den betroffenen Röhren	
7	baulich	Bauteil	Zwi- schen- decke	Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt, einzelner Fahr- streifen betroffen							Normalbetrieb	Normalbetrieb bis zur Durchführung der Reparaturarbei- ten, verkehrliches Betriebszenario während der In- standsetzung ergibt sich aus den Platz- anforderungen der Bauarbeiten	

## Traffic effects at the network level



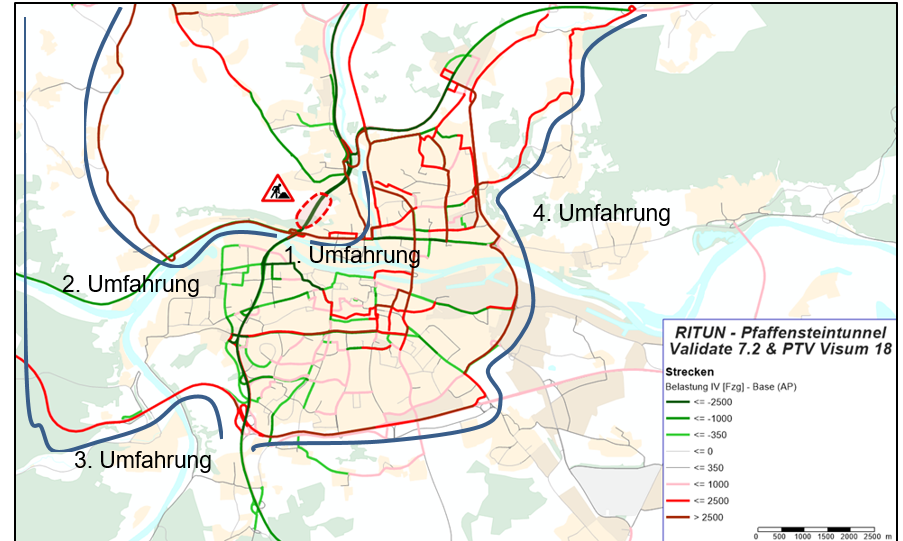
Enclosure Bayreuth



Tunnel Pfaffenstein, Regensburg

## Traffic effects at the network level

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



**LOCAL**

**REGIONAL**

Example: Tunnel Pfaffenstein, tube failure in southern direction  
total economic costs: ~ 320.000 € per day

# 3. Examinations

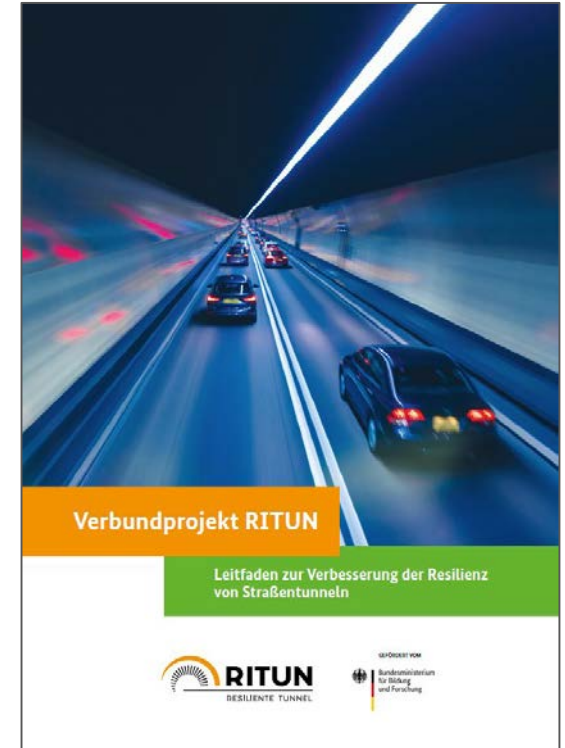
## Result: Evaluation of measures to increase resilience

#	Maßnahme	Verfügbarkeit		Synergieeffekte				Bestand			Neubau		
		Prävention	Mitigation	Sicherheit	objektübergreifend	tunnelübergreifend	bedrohungsübergreifend	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen
<b>P1</b>	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	●	●	●				●	●		●	●	
<b>P2</b>	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 mosaicner	●	●	●	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 Lichttraumprofil	●	●	●	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	●	●		●	●	
<b>P3</b>	Verhindern bzw. Abmildern von Schadensereignissen 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	●	●		●	●	

# 4. Results

1. Manual
2. Evaluation tools
3. Operating manual & application example
4. Measures – Factsheets
5. Tool for the monetary evaluation of the traffic effects of unavailability
6. Recommendation for minimum operating conditions

[www.bast.de/ritun](http://www.bast.de/ritun) (From Januar 2021)



# IMPROVING THE RESILIENCE OF ROAD TUNNELS UNDER THE PERSPECTIVE OF TUNNEL SAFETY

Contact:

Federal Highway Research Institute (BAST)

Dr.-Ing. Selcuk Nisancioglu  
[nisancioglu@bast.de](mailto:nisancioglu@bast.de)

Dipl.-Ing. Ulrich Bergerhausem  
[Bergerhausen@bast.de](mailto:Bergerhausen@bast.de)

ILF Consulting Engineers

Dipl.-Ing. Harald Kammerer (ILF, Linz)  
[Harald.Kammerer@ilf.com](mailto:Harald.Kammerer@ilf.com)

Dipl.-Ing. Michael Barth (ILF, Munich)  
[Michael.Barth@ilf.com](mailto:Michael.Barth@ilf.com)

