



Verbundprojekt RITUN

Leitfaden zur Verbesserung der Resilienz
von Straßentunneln



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Das diesem Leitfaden zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms Forschung für die zivile Sicherheit, Bekanntmachung: „Anwender – Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit“ gefördert.

Förderkennzeichen 13N14864 bis 13N14865

Projektlaufzeit 09/2018 – 08/2020

GEFÖRDERT VOM



RITUN Verbundpartner

Projektpartner:
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach



ILF Beratende Ingenieure GmbH, München



Assoziierter Partner:
Bayerische Staatsbauverwaltung – Zentralstelle Ingenieurbauwerke und Georisiken



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Herausgeber.

Resiliente Straßentunnel (RITUN) - Leitfaden zur Verbesserung der Resilienz von Straßentunneln

Der Leitfaden kann kostenlos bei der Bundesanstalt für Straßenwesen angefordert werden und auf der Projektwebsite www.bast.de/ritun mit allen weiteren Handlungshilfen heruntergeladen werden.

Herausgeber:
RITUN Verbundpartner

Gesamtverantwortlicher:
Dr. Jürgen Krieger
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Brüderstraße 53,
51427 Bergisch Gladbach,
Tel.: +49 (2204) 43-0,
E-Mail: ref-b3@bast.de

Redaktion:
RITUN Verbundpartner

Satz und Layout:
Orca Affairs GmbH, Schumannstr. 5, 10117 Berlin

Druck:
Bundesdruckerei, Bonn

Redaktionsschluss:
August 2020

Vorwort

Die Bundesfernstraßen bilden das größte Transportnetz für Personen und Waren in Deutschland und stellen eine wesentliche Grundlage für unserer moderne Gesellschaft sowie des wirtschaftlichen Wohlstands dar. Tunnel besitzen in diesem Netz aufgrund ihrer verbindenden und verkürzenden Funktion eine zentrale Rolle in der Gewährleistung der Leistungsfähigkeit des Straßenverkehrsnetzes. Die Beschädigung oder gar der vollständige Verlust kritischer Tunnelbauwerke durch disruptive Ereignisse kann hohe Wiederherstellungskosten mit langen Ausfallzeiten und damit einen erheblichen volkswirtschaftlichen Schaden nach sich ziehen. Daher wurden im Forschungsprojekt RITUN, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), Möglichkeiten zur Verbesserung der Resilienz von Tunneln untersucht, um so strukturiert zur Aufrechterhaltung ihrer Verfügbarkeit und Sicherheit beizutragen. Der vorliegende Leitfaden ist wesentliches Ergebnis dieses Projektes. Er beruht auf einer Methodik zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Tunneln im Ereignisfall sowie der Identifizierung von Resilienz-Maßnahmen zur Aufrechterhaltung und Steigerung des Verkehrsflusses nach einem Ereignis. Diese Ergebnisse beruhen auf risikoanalytischen Untersuchungen, Verkehrssimulationen und der Zusammenarbeit von Experten aus Forschung und Praxis. Sie wurden vor Veröffentlichung an einem Tunnel sowie einer Einhausung in der Praxis erprobt.

Wir wünschen Ihnen viel Erfolg bei der Verbesserung der Resilienz Ihrer Tunnel und möchten Sie mit diesem Leitfaden dabei unterstützen.

Kurzfassung

Der vorliegende Leitfaden enthält alle für die Anwendung in der Praxis notwendigen Informationen und Werkzeuge, um die Resilienz von Straßentunneln systematisch zu verbessern. Hierzu gehört zum einen die Steigerung der Widerstandsfähigkeit von Tunneln gegenüber äußeren Einflüssen und zum anderen die beschleunigte Rückkehr zur vollen Verfügbarkeit nach Eintritt eines Ereignisses. Auch wird die Möglichkeit berücksichtigt, Tunnel nach einem Ereignis unter Einhaltung des geforderten Sicherheitsniveaus temporär zu betreiben und so eine Teilverfügbarkeit zu gewährleisten.

Hierzu wird nach einer kurzen Einleitung im zweiten Kapitel das Konzept der Resilienz für Straßentunnel, die Wirkungsweisen von Resilienzmaßnahmen und ihre Einbettung in ein systematisches Resilienzmanagement dargestellt.

Voraussetzung für die Identifikation von Resilienzmaßnahmen ist die Kenntnis der potentiellen Bedrohungen. Hierfür wurden auf Grundlage des All-Gefahren-Ansatzes alle relevanten Bedrohungen Wirkungsorten zugeordnet und hieraus Schadensszenarien abgeleitet. Diese wurden abschließend in eine Bedrohungs-Schadenmatrix (**Anlage 1**) überführt.

Anschließend werden die Auswirkungen der Schadensszenarien auf den Tunnelbetrieb und den Verkehr dargestellt. Ergänzend wurden minimale Betriebsbedingungen erarbeitet, die es durch Umsetzung von Kompensationsmaßnahmen erlauben, einen Tunnel nach einem Ereignis sicher weiter zu betreiben. Die Zusammenstellung der Schadensszenarien und ihre Auswirkungen auf Tunnelbetrieb und Verkehr wurden ebenfalls in eine übersichtliche Tabelle übertragen (**Anlage 2**).

Im nächsten Schritt werden die identifizierten Resilienzmaßnahmen mit einer Methodik zur zielgerichteten Auswahl vorgestellt (**Anlage 3**). Ergänzend wurden so genannte Fact-Sheets mit detaillierten Informationen zu den Maßnahmen entwickelt (**Anlage 4**). Zum besseren Verständnis wurde ein Beispiel für die Anwendung des Leitfadens erstellt, das Sie auf der Projektwebsite herunterladen können.

Der Leitfaden schließt mit abschließenden Anmerkungen zu Resilienz, die über die in diesem Leitfaden enthaltenen Maßnahmen hinausgehende Aspekte aufgreifen und zur weiteren Beschäftigung mit der Thematik anregen.

Inhaltsverzeichnis

Glossar	8
1 Einleitung.....	10
1.1 Hintergrund und Motivation	10
1.2 Ziel und Nutzen	12
1.3 Systematisch zu mehr Resilienz.....	12
1.4 Anwendungsbereich und Grenzen	14
2 Grundlagen	15
2.1 Resilienz.....	15
2.2 Einfluss von Maßnahmen auf die Resilienz.....	17
2.3 Funktionalität von Straßentunneln.....	18
2.4 Resilienzmanagement	18
3 Bedrohungen und Schadensszenarien.....	20
3.1 Bedrohungen.....	20
3.1.1 All Gefahren Ansatz.....	20
3.1.2 Wirkungsorte	21
3.1.3 Hinweise zu vom Menschen beabsichtigten Bedrohungen.....	22
3.2 Schadensszenarien.....	23
3.3 Zusammenfassung.....	24
4 Auswirkungen von Schadensszenarien auf Tunnelbetrieb und Verkehr.....	25
4.1 Minimale Betriebsbedingungen.....	25
4.1.1 Anwendbarkeit im Sinne geltender Regelwerke	27
4.1.2 Methodik zur Bewertung von Schadensszenarien.....	28
4.2 Verkehrliche Auswirkungen	30
4.2.1 Verkehrliche Auswirkungen auf lokaler Ebene.....	31
4.2.2 Verkehrliche Auswirkungen in der Netzebene	32
4.3 Zusammenfassung.....	33

5	Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz	34
5.1	Kategorisierung von Resilienzmaßnahmen.....	35
5.2	Bewertung von Resilienzmaßnahmen.....	40
5.2.1	Bewertungsparameter Verfügbarkeit.....	40
5.2.2	Bewertungsparameter Synergieeffekte.....	40
5.2.3	Bewertungsparameter Realisierbarkeit	41
5.2.4	Bewertungsparameter Kosten.....	42
5.3	Maßnahmenauswahl	43
5.4	Zusammenfassung	44
6	Abschließende Anmerkungen zur Resilienz von Straßentunneln	45
7	Literaturverzeichnis	47
8	Anlagen	48

Glossar

Im Folgenden werden die für ein einheitliches Verständnis des vorliegenden Leitfadens benötigten Begriffe definiert.

Agilität	Agilität ist ein Merkmal des Managements, flexibel und darüber hinaus proaktiv, antizipativ und initiativ zu agieren, um notwendige Veränderungen einzuführen.
Bedrohung	Eine Bedrohung ist eine potentielle Gefahr, die eine schädigende Wirkung entfalten und dadurch die Funktionalität von Straßentunneln reduzieren kann.
Disruptives Ereignis	Disruptive Ereignisse führen zu schockartigen Einwirkungen (acute shocks) oder schleichenden Veränderungsprozessen (chronic stresses), welche die Funktionalität eines Systems negativ beeinflussen.
Gefahr	Eine Bedrohung wird zu einer potentiellen Gefahr, wenn sie auf eine Schwachstelle (insbesondere technische oder organisatorische Mängel) trifft und so einen Schaden verursachen kann.
Kapazität	Die Kapazität ist die größtmögliche Verkehrsstärke, die bei gegebenen Randbedingungen erreicht werden kann.
funktionale Kompensation	Durch eine funktionale Kompensation kann der Verlust einer bestimmten Funktionalität aufgrund eines Schadens einer Komponente durch vorhandene Redundanzen oder durch andere Systeme vollständig oder teilweise kompensiert werden.
sicherheitstechnische Kompensation	Durch eine sicherheitstechnische Kompensation kann die Risikoerhöhung aufgrund eines Schadens einer Komponente durch sicherheitstechnische Maßnahmen vollständig oder teilweise kompensiert werden. Dabei können organisatorische und verkehrliche Maßnahmen zum Einsatz kommen.

Resilienzkultur	Resilienzkultur beschreibt das Einhergehen des Beachtens und Anwenden von Resilienzaspekten mit der Förderung des Bewusstseins und Vertrauens in neue Wissensformen bei den Mitarbeitern in einer Organisationseinheit wie der Straßenbauverwaltung.
Resilienz	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, 2014)].
Resilienzmanagement	Das Resilienzmanagement bildet anhand eines zirkulären Zusammenspiels von Zieldefinition, Identifikation kritischer Elemente, Gefährdungsanalyse, Resilienzscreening und Maßnahmenfindung in Kombination mit Informationsübermittlung und periodischen Überprüfungen den übergeordneten Rahmen, um die Resilienz eines Systems auf konzeptionelle und strategische Weise sicherzustellen.
Robustheit	Robustheit beschreibt die Fähigkeit eines Systems, Ausfälle von einzelnen Systemkomponenten, ohne einen Verlust der Systemfunktionalität zu verkraften.
Schadensszenario	Ein Schadensszenario beschreibt die veränderte Situation an und in einem Tunnel nach dem Eintritt eines disruptiven Ereignisses.
Sicherheitsrelevanz	Sicherheitsrelevant sind alle Schadensszenarien, die durch ihr Auftreten relevante Auswirkungen auf die Sicherheit von Personen verursachen können.
Sicherheitssignifikanz	Sicherheitssignifikant sind alle Schadensszenarien, die eine Risikoüberschreitung des Toleranzbereichs aufweisen und zum Erreichen des Handlungsbereichs führen.

1 Einleitung

Die soziale und wirtschaftliche Stabilität Deutschlands hängt in hohem Maße von Mobilität und funktionierenden Warenketten ab. Die Straßenverkehrsinfrastruktur ist die am stärksten vernetzte unter den Verkehrsinfrastrukturen. Alterung, natürliche und vom Menschen verursachte Gefahren bedrohen ihre Sicherheit und Verfügbarkeit. Auch aufgrund der wachsenden Komplexität der Straßeninfrastruktur, der Interdependenzen zu anderen Kritischen Infrastrukturen und der zukünftig zu erwartenden Bedrohungen durch die Nutzung neuer Technologien, wie bspw. im Zuge der Digitalisierung, müssen Fragen der Sicherheit und Verfügbarkeit kontinuierlich und proaktiv erforscht und Empfehlungen abgeleitet werden.

1.1 Hintergrund und Motivation

Der Sicherheit in Tunneln gilt besonderes Augenmerk, weil sich die Verkehrsteilnehmer anders als auf der freien Strecke in einem Bauwerk befinden, das die Flucht- und Rettungsmöglichkeiten einschränkt. Daher haben Ereignisse in Tunneln im Vergleich zur freien Strecke gravierende Auswirkungen auf die Nutzersicherheit, das Bauwerk sowie die betriebstechnische Ausstattung. Die Wiederherstellung kann zu langen verkehrlichen Einschränkungen (Tunnelsperrungen) führen und infolgedessen erhebliche Mehrreisezeiten und Umweltbelastungen durch die Nutzung von Ausweichrouten hervorrufen. Ausweichrouten über das nachrangige Netz sind häufig nicht für das zusätzliche Verkehrsaufkommen dimensioniert, was zu einer verminderten Kapazität sowie einer erhöhten Anzahl von Unfällen mit Sach- und Personenschäden führt. Die zusätzlichen Lasten, insbesondere aus dem Güterverkehr, können zu Schäden an der Straßensubstanz der Ausweichrouten führen, was wiederum entsprechende Instandsetzungsmaßnahmen zur Folge hat. Diese infolge der indirekten Auswirkungen entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten übersteigen in der Regel die direkten Kosten der Schäden an Bauwerk und Ausstattung um ein Vielfaches.

Zur Verdeutlichung wird das Beispiel des LKW-Brandes im Tunnel Königshainer Berge im Zuge der A4 Dresden - Görlitz, 14 km vor der Bundesgrenze zur Republik Polen im Mai 2013 angeführt: Die Instandsetzung des Schadens durch das Brandereignis im Tunnel führte zu der Sperrung einer Tunnelröhre von fünf Monaten. Der Verkehr wurde zur Umfahrung des Tunnels von der Autobahn abgeleitet. Es entstanden erhebliche Mehrreisezeiten sowie Schäden an den Straßen der Umfahungsstrecke.



Abbildung 1.1: Löscharbeiten nach dem LKW-Brand im Tunnel Königshainer Berge am 18.05.2013
(Bildquelle: Peter Eichler, kreisbrandmeister-goerlitz.de)

Dieses Beispiel steht exemplarisch für eine Vielzahl von Ereignissen der letzten Jahre und stellt die Auswirkungen eindrucksvoll dar. Dass mit geeigneten Maßnahmen effizient entgegengewirkt werden kann, zeigt der Vergleich zweier Brände in den österreichischen Tunneln Gleinalm (2018) und Arlberg (2019) mit potentiell ähnlicher Größenordnung. Aufgrund der erheblichen Schäden im Gleinalmtunnel entstanden Kosten für bauliche Maßnahmen von rund € 2 Mio., welche durch den zusätzlichen Mautausfall, die hohe Belastung der Umleitungsstrecken und Mehrreisezeiten noch um ein Vielfaches überschritten wurden. Die Freigabe für den Verkehr konnte erst nach einer rund dreimonatigen Sperre erfolgen. Der Einsatz einer automatischen Brandbekämpfungsanlage im Arlbergtunnel hingegen konnte sowohl Personen- als auch Sachschäden vermeiden und ermöglichte die Wiederöffnung bereits nach wenigen Stunden.

Es wird offensichtlich, dass Lösungen zur Verbesserung der Resilienz von Tunneln, also zum Schutz vor Gefahren, zur Vermeidung und Milderung der Auswirkungen von Ereignissen sowie zur beschleunigten Rückkehr zur vollen Leistungsfähigkeit, von großer Bedeutung für die gesamte Straßenverkehrsinfrastruktur sind. Der RITUN-Leitfaden wurde erarbeitet, um Tunnelbetreiber bei der Erreichung dieser Ziele mit neuen systematisch aufbereiteten Erkenntnissen zu unterstützen.

1.2 Ziel und Nutzen

Ziel des Projekts RITUN war die Verbesserung der Resilienz von Straßentunneln gegenüber disruptiven Ereignissen. Um dieses Ziel zu erreichen, wurde eine Methode entwickelt, die eine Gesamtbewertung der Verfügbarkeit und der Resilienz ermöglicht. Ergänzend wurden geeignete Maßnahmen erarbeitet, mit denen disruptive Ereignisse verhindert, abgemildert bzw. anschließend schneller als bisher die notwendige Verfügbarkeit erreicht werden kann. Hierzu wurden auch minimale Betriebsbedingungen untersucht, die einzuhalten sind, um Tunnel – eventuell mit reduzierter Leistungsfähigkeit – temporär weiter zu betreiben.

Dieser Leitfaden fasst die für die Praxis relevanten Ergebnisse zusammen und stellt sie in der notwendigen Tiefe für die Anwendung dar. Weitergehende wissenschaftliche Ergebnisse sind in den Projekt-Berichten enthalten und können bei Bedarf auf der Projektwebsite www.bast.de/ritun abgerufen werden.

1.3 Systematisch zu mehr Resilienz

An dieser Stelle wird zusammenfassend der Aufbau des Leitfadens erläutert. Als Einstieg in die Thematik wird das Konzept der Resilienz und die Adaption für Tunnel vorgestellt und auf die Einordnung im Kontext des so genannten Resilienzmanagements eingegangen. Auch das Erkennen von Interdependenzen mit anderen Kritischen Infrastrukturen spielt hierbei eine wichtige Rolle.

Die in RITUN erarbeitete Methodik besteht aus drei Kernelementen, wie sie in Abbildung 1.2 dargestellt sind.

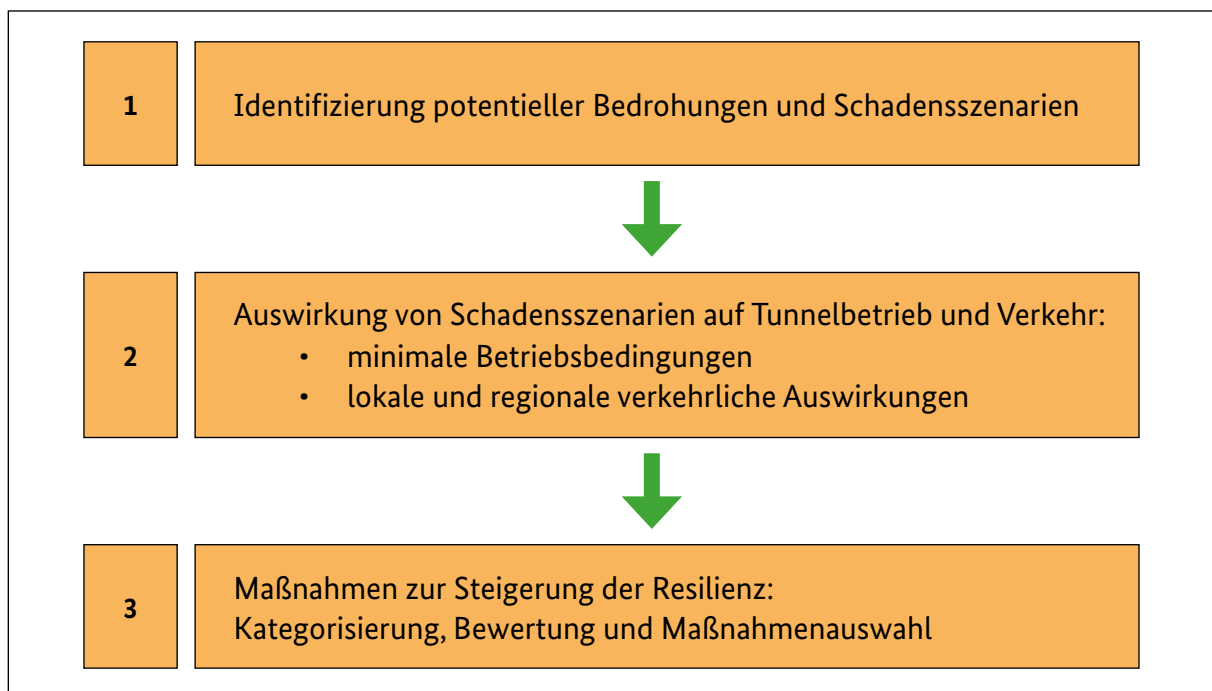


Abbildung 1.2: Struktur und Aufbau des Leitfadens

SCHRITT 1

Im ersten Schritt werden sämtliche zum heutigen Zeitpunkt relevanten Bedrohungen für die Sicherheit und Verfügbarkeit von Straßentunneln dargestellt und Wirkungsorten zugeordnet. Auf dieser Basis werden potentielle Schadensszenarien identifiziert, die aufgrund einer Bedrohung am Tunnel eintreten.

SCHRITT 2

Die Auswirkungen dieser Schadensszenarien werden sowohl hinsichtlich des Tunnelbetriebs, als auch des Verkehrs näher untersucht. Hierzu wurden sogenannte minimale Betriebsbedingungen erarbeitet. Diese sind maßgebend dafür, ob und wie ein Tunnel in Folge eines Ereignisses unter Einhaltung des geforderten Sicherheitsniveaus weiterhin betrieben werden darf. So kann die Verfügbarkeit, evtl. unter Einsatz risikoreduzierender Kompensationsmaßnahmen, häufig zu einem großen Teil aufrechterhalten werden. Anschließend werden die verkehrlichen Auswirkungen der eingeschränkten Betriebsszenarien ermittelt. Dies erfolgt sowohl auf lokaler Ebene im unmittelbaren Bereich des Tunnels, als auch auf regionaler Ebene im Straßennetz. So kann der Einfluss auf die Kapazität und die resultierenden volkswirtschaftlichen Kosten aufgrund der verkehrlichen Einschränkungen ermittelt werden. Mithilfe dieser monetären Bewertung wird Betreibern eine Entscheidungshilfe für Investitionen in die Verbesserung der Resilienz zur Verfügung gestellt.

SCHRITT 3

Auf Basis dieser Vorarbeiten sowie durchgeführter Betreiberinterviews und Expertenworkshops werden im abschließenden Schritt potentielle Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz von Straßentunneln vorgestellt. Begleitet werden diese von einer Methodik, die die Bewertung der Wirkung dieser Maßnahmen auf verschiedene Aspekte der Resilienz ermöglicht. So können Nutzer Maßnahmen gezielt auswählen, priorisieren und umsetzen. Die Maßnahmen können dabei sowohl technischer als auch organisatorischer Natur sein und werden ihrem Wirkungszeitpunkt entsprechend den Resilienzphasen zugeordnet.

ANHANG UND ANWENDUNGSBEISPIELE

Im Anhang befindet sich ein Überblick der entwickelten Instrumente, die Sie für eine systematische Verbesserung der Resilienz benötigen. Sie können diese als bearbeitbare Datei für die individuelle Bearbeitung und evtl. Anpassungen und Erweiterungen auf der Projektwebsite www.bast.de/ritun kostenlos herunterladen. Hier finden Sie auch Anwendungsbeispiele für die Instrumente.

HINWEISE IM LEITFADEN

Ergänzend werden im Leitfaden Hinweise auf weitergehende Informationen bzw. Hilfsmittel zu den jeweiligen Aspekten der Resilienz gegeben, die Sie bei Bedarf für eine vertiefende Beschäftigung mit der jeweiligen Thematik heranziehen können.

1.4 Anwendungsbereich und Grenzen

Die Erhöhung der Resilienz von Tunneln ist ein kontinuierlicher Prozess, der idealerweise in ein Resilienzmanagementsystem eingebettet werden sollte und immer im Kontext der Wechselwirkungen zu anderen Kritischen Infrastrukturen zu gestalten ist. Die Grundlage jedes Managementsystems ist die Initiierung des Prozesses durch das sogenannte Top-Management, also der obersten Ebene in der hierarchischen Organisationsstruktur, das eindeutig Ressourcen zur Verfügung stellt, Verantwortliche bestimmt und der Thematik die notwendige Relevanz zuweist. In Abhängigkeit von der Gefährdungslage sind die Prozesse erneut zu durchlaufen.

Diesem Leitfaden liegt ein maßnahmenorientierter Ansatz zugrunde, der unter Berücksichtigung der aktuell gültigen Regelwerke (RABT, EABT) erarbeitet wurde. Verbesserungen können nur in den Bereichen erzielt werden, für die zum heutigen Zeitpunkt Maßnahmen existieren. Daher sind die umgesetzten Maßnahmen im Hinblick auf ihre Effektivität und Effizienz in regelmäßigen Abständen zu bewerten und anzupassen. Neue Maßnahmen sollten idealerweise auch im Dialog mit anderen Betreibern Kritischer Infrastrukturen entwickelt und umgesetzt werden.



2 Grundlagen

2.1 Resilienz

Der Begriff Resilienz hat seinen Ursprung im lateinischen *resilire* (zurückspringen, abprallen) und beschreibt die physikalische Fähigkeit eines Körpers, nach Veränderung der Form wieder in seine Ursprungsform zurückzuspringen. Der Begriff sowie das Konzept ist mittlerweile allgegenwärtig und wird in verschiedenen Disziplinen genutzt, beispielsweise in der Beschreibung von Ökosystemen, der Psychologie und mittlerweile eben auch in den Ingenieurwissenschaften.

In diesem Leitfaden wird Resilienz als die Fähigkeit von Straßentunneln verstanden, 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, 2014)).

Das Konzept lässt sich grafisch mithilfe des Funktionalitätsverlaufs über die Zeit darstellen (Abbildung 2.1). Je kleiner dabei die Fläche zwischen dem Niveau der ursprünglichen Funktionalität und der aufgrund eines disruptiven Ereignisses veränderten Funktionalität ist, desto größer ist die Resilienz. Das bedeutet, das System reagiert widerstandsfähiger auf Störungen und kehrt anschließend schneller zur vollen Leistungsfähigkeit zurück. Resilienzmaßnahmen haben demnach zum Ziel, den Funktionalitätsverlust infolge von Ereignissen so gering und zeitlich so kurz wie möglich zu halten. Das wird erreicht, wenn Maßnahmen

- die Eintrittshäufigkeit disruptiver Ereignisse reduzieren (1) und/ oder
- den Funktionalitätsverlust ΔF verringern (2) und/ oder
- die Dauer bis zur Rückkehr zur ursprünglichen Funktionalität Δt verkürzen (3).

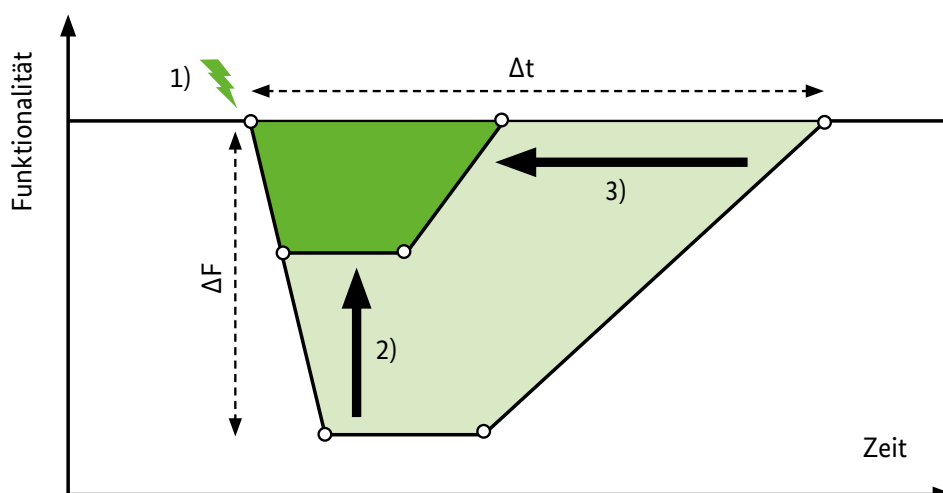


Abbildung 2.1: Wirkung von Resilienzmaßnahmen auf den Verlauf der Funktionalitätskurve, in Anlehnung an (Deublein et al. 2018)

Der Prozess zur kontinuierlichen Verbesserung der Resilienz lässt sich als Kreislauf (Abbildung 2.2) darstellen und besteht aus den Phasen

- vorbeugen,
- schützen,
- reagieren und
- erholen,

die in chronologischer Reihenfolge ablaufen, während die Phase „vorbereiten“ als integrales Element allen anderen Phasen immer vorausgeht und auch den Aspekt des Lernens aus vergangenen Ereignissen beinhaltet.

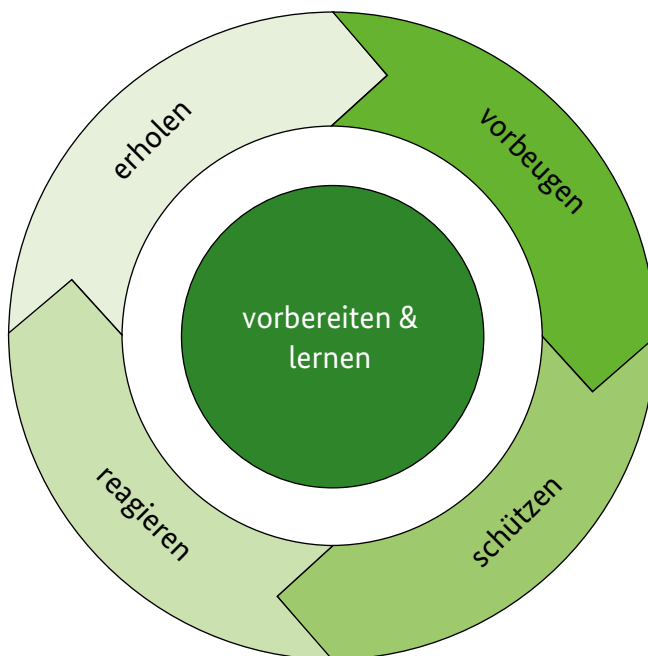


Abbildung 2.2: Resilienzkreislauf, in Anlehnung an (Thoma, 2014)

2.2 Einfluss von Maßnahmen auf die Resilienz

Resilienzmaßnahmen wirken in einer oder mehreren Phasen des Resilienzkreislaufs und tragen so zur Resilienz des Gesamtsystems bei. Um ihre Wirkung in den verschiedenen Phasen darzustellen, zeigt die folgende idealisierte Abbildung 2.3 den jeweiligen Einfluss einer Maßnahme auf den Verlauf der Funktionalitätskurve.

- a) Ohne Maßnahmen: Die Funktionalität fällt nach Eintreten eines disruptiven Ereignisses über die Einwirkungsdauer hinweg auf ihr Minimum ab und kehrt anschließend in einer Wiederherstellungsdauer zu ihrem ursprünglichen Wert zurück.
- b) Vorbeugende Maßnahme: Wenn das Eintreten eines disruptiven Ereignisses durch Maßnahmen der Phase „vorbeugen“ verhindert werden kann, bleibt die Funktionalität vollständig erhalten.
- c) Schützende oder reaktive Maßnahme: Durch Maßnahmen der Phasen „schützen“ und „reagieren“ wird der Funktionalitätsverlust reduziert. Da dadurch der wiederherzustellende Funktionalitätsverlust geringer ist, wird die Wiederherstellungsdauer bis zur vollen Funktionalität verkürzt.
- d) Erholende Maßnahmen: Die Wiederherstellung der vollen Funktionalität wird durch Maßnahmen der Phase „erholen“ beschleunigt und somit die Wiederherstellungsdauer reduziert.

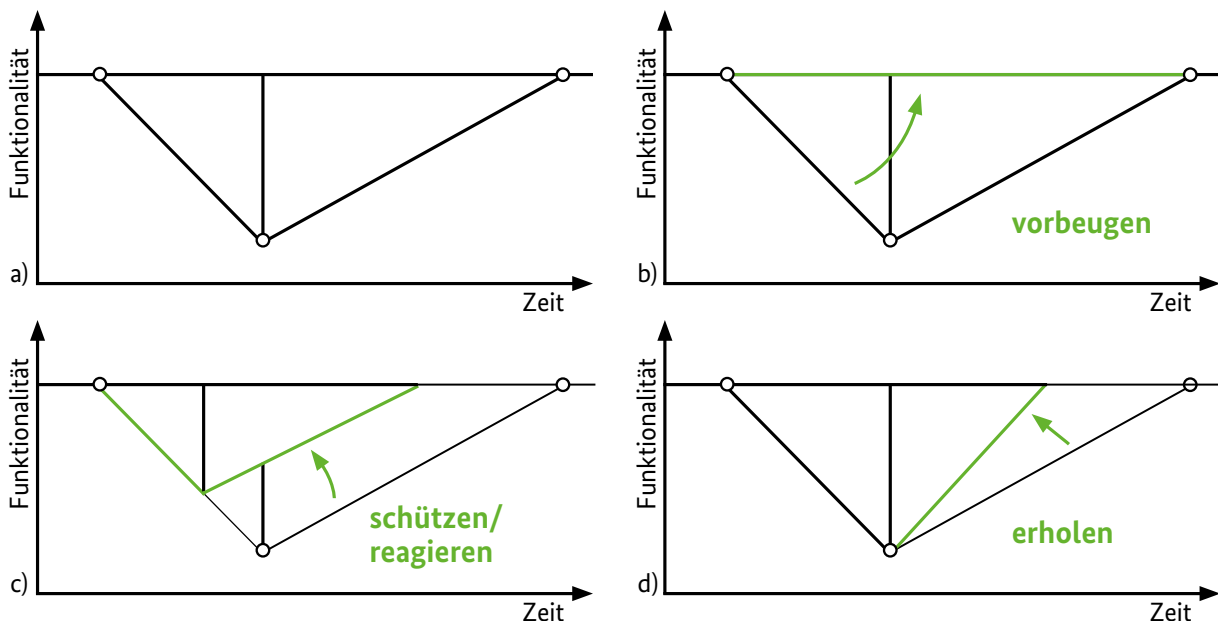


Abbildung 2.3: Idealisierte Darstellung des Einflusses von Resilienzmaßnahmen je Phase

a) ohne Maßnahmen, b) vorbeugen, c) schützen/reagieren, d) erholen

2.3 Funktionalität von Straßentunneln

Die Resilienz eines Systems definiert sich, wie bereits dargestellt, über seine Funktionalität. Grundlegend für die Definition der Funktionalität, die zu erhalten bzw. wiederherzustellen ist, sind die Anforderungen an Straßentunnel entsprechend dem Bundeverkehrswegeplan (BVWP), der Zielgrößen bezüglich eines leistungsfähigen, sicheren und umweltverträglichen Personen- und Güterverkehrs formuliert. Elemente der Verkehrsinfrastruktur besitzen demnach mehrere zu erfüllende Zielgrößen (Tabelle 2.1).

Tabelle 2.1: Mögliche Zielgrößen zur Definition der Funktionalität nach dem BVWP 2030

Kategorie	Funktionalität (Zielgröße)	Indikator
Wirtschaftliche Aspekte	Reise-/Transportzeit	Fahrzeugstunden
	Kapazität	Kapazität
	Betriebskosten	Beförderungs-/Transportkosten
	Innerörtliche Trennwirkung	Wartezeit (innerorts)
	Wertschöpfungseffekte	Wertschöpfung/Beschäftigung
Verkehrssicherheit	Unfallkosten	Personen-/Sachschäden
Umwelt	Luftschadstoff-/Treibhausgasemissionen	Fahrleistung
	Lärmbelastung	Fahrleistung (innerorts)
	Beeinträchtigung durch das Bauwerk	Qualitative Indikatoren
	Landschafts-/Ortsbild	Qualitative Indikatoren

Der vorliegende Leitfaden verfolgt das Ziel durch die Verbesserung der Resilienz die Verfügbarkeit von Tunneln zu sichern und zu verbessern und durch die Auswahl geeigneter Maßnahmen die verkehrlichen Auswirkungen infolge disruptiver Ereignisse zu reduzieren bzw. zu vermeiden. Als maßgebende Zielgrößen werden daher die (verbleibende) Kapazität sowie die Dauer eines eingeschränkten Betriebs oder Ausfalls im Ereignisfall herangezogen.

2.4 Resilienzmanagement

Idealerweise sollten die in RITUN entwickelten Handlungshilfen in ein systematisches Resilienzmanagement integriert werden, das die Belastbarkeit von Straßentunneln gegenüber äußeren Einflüssen stärkt. Dies erfolgt durch die Verbesserung der Widerstandsfähigkeit durch Maßnahmen, die proaktiv die Agilität und reaktiv die Robustheit stärken (vgl. (Wieland & Waltenburg, 2013)).

In diesem Zusammenhang stellen die RITUN-Handlungshilfen einen wesentlichen Teil des Resilienzmanagements, wie es in Abbildung 2.4 dargestellt ist, dar und decken die Elemente Netscreening (3), Resilienzbewertung (4) und Maßnahmenplanung (5) ab.

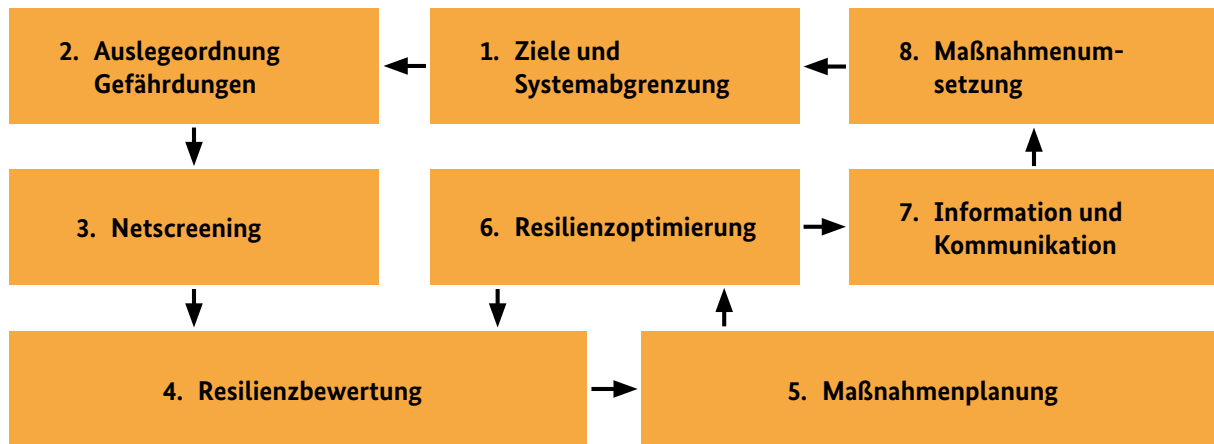


Abbildung 2.4: Elemente eines Resilienzmanagement (Deublein, Roth, Bruns, & Zulauf, 2018)

Das **Netscreening** dient der Identifizierung potentiell kritischer Tunnel hinsichtlich der Resilienz. So kann mithilfe einer Grobprüfung des zu untersuchenden Verkehrsnetzes anhand aussagekräftiger und einfacher Parameter der Arbeitsaufwand akzeptabel gestaltet werden. Im Zuge der **Resilienzbewertung** werden mögliche Einwirkungen und deren potentielle Auswirkungen auf die Funktionalität untersucht, um so eine erste Bewertung einzelner Straßentunnel zu erhalten. Diese Arbeitsschritte stellen die fundierte Grundlage für die gezielte **Maßnahmenplanung** dar.

In diesem Zusammenhang wird auch deutlich, dass sich das Resilienzmanagement auf das Risikomanagement stützt, dieses in einen Managementregelkreis einbettet und um Elemente wie die Vernetzung mit Stakeholdern und des Lernens aus Ereignissen erweitert.

Interdependenzen mit Kritischen Infrastrukturen

Um Interdependenzen mit Kritischen Infrastrukturen zu identifizieren, stehen Ihnen die Instrumente des Projektes RESILENS (Realising European ReSILiencE for CritIcaL INfraStructure) zur Verfügung. Hier wurde unter Mitwirkung der BAST ein Leitfaden für das übergeordnete Resilienzmanagement entwickelt, der auch von Betreibern der Straßenverkehrsinfrastruktur genutzt werden kann. Ergänzt wird dieser Leitfaden von einer Resilienzmanagementmatrix und einem Audit-Toolkit, die es ermöglichen, Ihren Tunnel auf verschiedenen räumlichen Skalen (städtisch, regional, national und grenzüberschreitend) zu bewerten und sich so bzgl. Abhängigkeiten und Verantwortungen zu anderen Kritischen Infrastrukturen bewusst zu werden und Maßnahmen abzuleiten. Der Link zur Bewertung wird Ihnen auf der Projektwebsite www.bast.de/ritun zur Verfügung gestellt. Hier können Sie die Bewertung online vornehmen.

3 Bedrohungen und Schadensszenarien

Im folgenden Kapitel werden die dem All-Gefahren-Ansatz folgend identifizierten Bedrohungen für Straßentunnel kategorisiert. Trifft eine Bedrohung auf eine Schwachstelle (insbesondere technische oder organisatorische Mängel), so entsteht eine potentielle Gefahr für einen Schaden. Die Ermittlung der relevanten Schadensszenarien infolge dieser Bedrohungen erfolgte unter Rücksprache mit Experten der Tunnelplanung, Tunnelsicherheit und des Tunnelbetriebs.

3.1 Bedrohungen

Es werden potentiell vom Menschen ausgehende Bedrohungen sowie Bedrohungen natürlichen Ursprungs unterschieden. Bedrohungen, die keiner dieser Kategorien zugeordnet werden können, werden der Kategorie „Sonstige“ zugeordnet.

Identifikation von Bedrohungen

Die identifizierten Bedrohungen in der Bedrohungs-Schaden Matrix in **Anlage 1** sind mit Nummern versehen, die sich auf Fact-Sheets aus dem Projekt AllTraIn beziehen. In diesen Fact-Sheets sind weitergehende Informationen zu einzelnen Bedrohungen enthalten. Sie können auf der Projektwebsite kostenlos heruntergeladen werden.

<http://www.alltrain-project.eu/results/>

Auch bietet AllTraIn die Möglichkeit eine Identifikation relevanter Bedrohungen online und in englischer Sprache durchzuführen. Das AllTraIn Tool finden Sie unter:

<http://www.alltrain-project.eu/tool/>

Die Bedienungsanleitung für das Tool stellt der AllTraIn Leitfaden dar, den Sie ebenfalls unter <http://www.alltrain-project.eu/results/> herunterladen können.

3.1.1 All Gefahren Ansatz

Eine Bedrohung ist eine potentielle Gefahr, die eine schädigende Wirkung entfalten und dadurch die Funktionalität von Straßentunneln reduzieren kann. Bei der Identifikation der Gefahren wird entsprechend der Nationalen Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen

KRITIS (Bundesministerium des Innern, 2009) der All-Gefahren-Ansatz verfolgt. Dabei werden alle potentiell für Tunnel relevanten Bedrohungen gleichermaßen berücksichtigt. Hierzu gehören Bedrohungen natürlichen Ursprungs und vom Menschen ausgehende. Bedrohungen, die keiner dieser Kategorien zugehören, werden gesondert als Sonstige aufgeführt. Inwiefern ein Tunnel durch eine Bedrohung potentiell gefährdet wird, hängt von Expositions-kriterien, auslösenden Voraussetzungen und von vorhandenen Schwachstellen ab. Als relevante Bedrohungen gelten daher potentielle Ereignisse, die die Sicherheit und/oder Verfügbarkeit des Verkehrs in Tunneln beeinträchtigen können.

3.1.2 Wirkungsorte

In RITUN werden Bedrohungen Wirkungsorten zugeordnet, um die Identifikation und Auswahl von Maßnahmen zielgerichtet vorzunehmen. Folgende Wirkungsorte von Bedrohungen werden unterschieden:

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

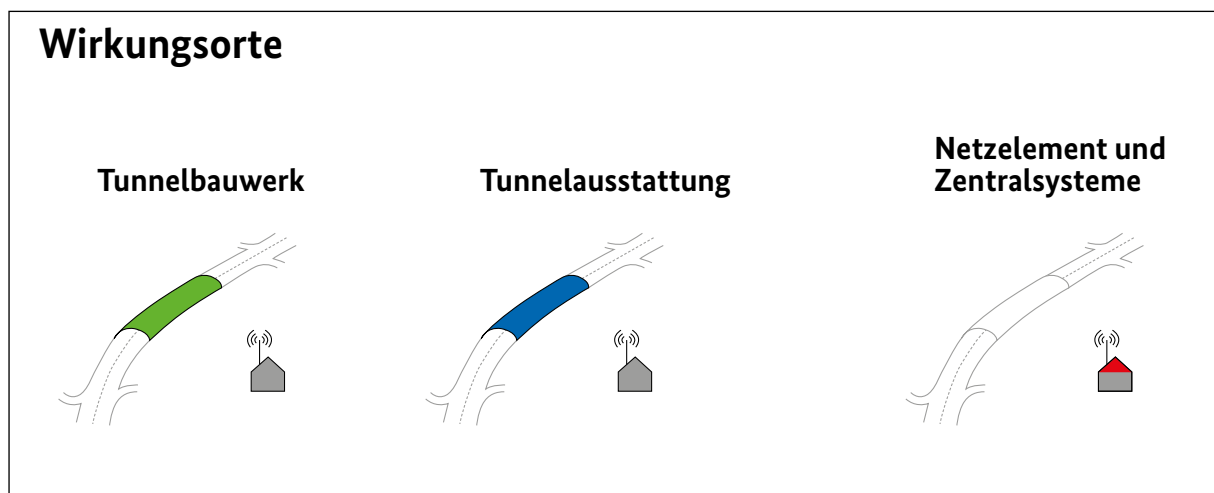


Abbildung 3.1: Wirkungsorte von Bedrohungen

3.1.3 Hinweise zu vom Menschen beabsichtigten Bedrohungen

An dieser Stelle wird kurz auf die Besonderheiten der von Menschen ausgehenden und beabsichtigten Bedrohungen eingegangen. Hierzu zählen Physische-, Cyber- und Cyber-Physische Angriffe, also gezielte Handlungen durch Personen oder Personengruppen aus unmittelbarer Nähe oder aus dem Cyberraum. Dabei sind sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeit von gezielten Angriffen als auch das Schadensausmaß schwierig abzuschätzen, da sich die Bedrohungslage kontinuierlich verändert.

Physische Angriffe, wie z.B. das Blockieren von Zu- und Ausfahrten oder Fluchtwegen sowie das Herbeiführen eines Brandes oder einer Explosion lassen sich auf Grund des leichten Zugangs und dem dezentralen Charakter der Tunnelinfrastruktur leicht durchführen.

Ein erfolgreicher Cyber-Angriff auf eine Tunnelleitzentrale könnte dazu führen, dass alle überwachten Tunnel vor Ort über die Betriebsgebäude gesteuert werden müssen. Dies kann schnell zu Personalengpässen führen. Bei der Entwicklung der Systeme wurde in der Vergangenheit wenig Wert auf Security gelegt, weshalb viele vergleichsweise einfach anzugreifen sind. In dem Maße, in dem Details über verwendete Betriebssysteme, Protokolle und Geräte allgemein zugänglich werden, werden weitere Schwachstellen entdeckt und Exploits bereitgestellt. Damit werden Angriffe gegen vernetzte Komponenten immer leichter.

Cyber-physische Angriffe sind im ersten Schritt Cyber-Angriffe, die allerdings im weiteren Verlauf das Ziel haben, physische Systeme zu beschädigen. Prominentester Fall ist sicherlich die Schadsoftware Stuxnet, die die Zentrifugen der Urananreicherungsanlagen im Iran zerstört hat. Ähnliches ist auch für sicherheitstechnische Komponenten von Tunnel vorstellbar.

Cyber-Sicherheit von Tunneln und Tunnelleitzentralen

Im Rahmen des Projektes Cyber-Safe wurden ein Leitfaden und eine Bewertungssoftware auf Grundlage der BSI-Grundschutzkataloge sowie auf den Ergebnissen von Penetrationstests entwickelt. Diese können Sie kostenlos auf der Website www.bast.de/ritun abrufen. In der Bewertungssoftware werden alle Maßnahmen, die zur Verbesserung der Cyber-Sicherheit von Tunneln und Tunnelleitzentralen vorhanden sind, dargestellt. Da die Verbesserung der Cyber-Sicherheit allerdings ein kontinuierlicher Prozess ist, wird empfohlen in regelmäßigen Abständen Informationen und neueste Erkenntnisse beim Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) auf www.bsi.bund.de einzuholen. Die aktuelle Gefahrenlage finden Sie auf www.allianz-fuer-cybersicherheit.de

3.2 Schadensszenarien

Bedrohungen können ein breites Spektrum an Schadensszenarien auslösen, wobei das Ausmaß vom Wirkungsort und der Schwere des Ereignisses abhängt. Dabei können einzelne Schäden durch unterschiedliche Bedrohungen hervorgerufen werden. Gleichzeitig kann eine Bedrohung zu unterschiedlichen Schadensszenarien führen. Dieser Zusammenhang wird zum besseren Verständnis schematisch in Abbildung 3.2 dargestellt.

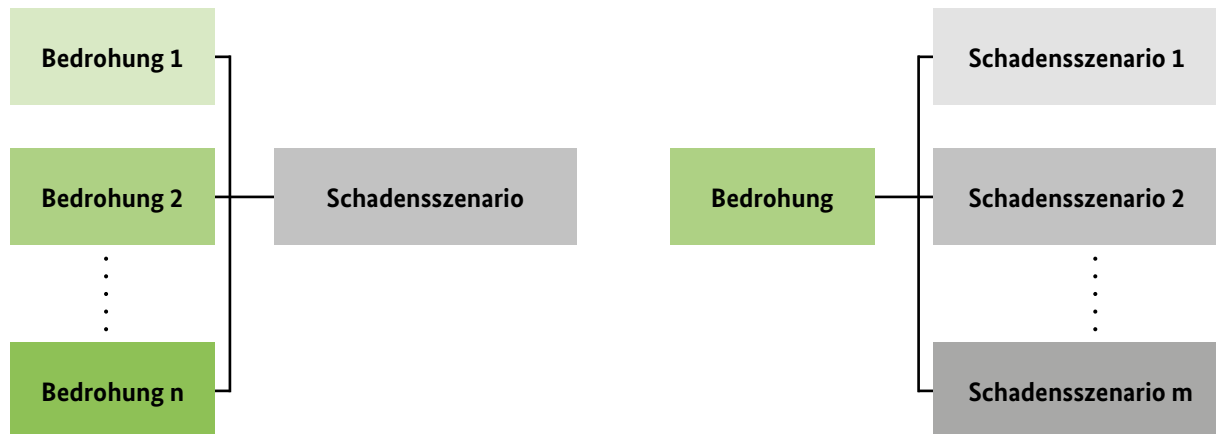


Abbildung 3.2: Schematischer Zusammenhang zwischen Bedrohungen und Schadensszenarien

In diesem Leitfaden stehen disruptive Ereignisse im Fokus. Dies sind außergewöhnliche Ereignisse, die über die Anforderungen geltender Regelwerke hinausgehen und daher durch die in RABT-konform ausgestatteten Tunneln vorhandenen Sicherheitsmaßnahmen nicht (vollständig) absorbiert werden können und so zu besonders gravierenden Schadensszenarien führen können. Grundlagen für eine Auswertung der Zusammenhänge zwischen Bedrohungen und den Schadensszenarien sind in der notwendigen Zahl nicht vorhanden, da der überwiegende Teil der Bedrohungen durch eine niedrige Eintrittshäufigkeit gekennzeichnet ist. Ein belastbares und übertragbares Schadensbild zu zeichnen, welches konkret einer Bedrohung zugeordnet werden kann, ist daher oftmals nicht möglich. Die Schadensszenarien wurden daher unabhängig ihrer ursächlichen Bedrohung untersucht und bewertet. Dies hat den Vorteil, dass sich die entwickelte Bewertungsmethodik zur Beurteilung der Auswirkungen neuartiger, zum heutigen Stand nicht berücksichtigter Bedrohungen eignet, und dieser Ansatz dem Umgang mit dem Unerwarteten bzw. Unbekannten im Sinne der Resilienz nachkommt.

Entsprechend der Definition der Wirkungsorte der Bedrohungen können diese zu baulichen, betriebstechnischen und versperrenden Schadensszenarien führen.

Bauliche Szenarien beschreiben strukturelle Schäden am Tunnelbauwerk, hervorgerufen durch statische, dynamische bzw. thermische Belastung infolge der Bedrohungen. **Betriebstechnische Szenarien** resultieren aus dem Funktionsverlust der Sicherheitstechnik der Tunnelausstattung sowie in Zentralsystemen. Blockaden des Tunnels, ohne das Auftreten unmittelbarer Schäden, werden den **versperrenden Szenarien** zugeordnet und führen zu einer Einschränkung oder Unterbrechung des Verkehrsflusses und betreffen das Netzelement, in dem sich der Tunnel befindet.

Alle sicherheitsrelevanten Systeme können diesen Kategorien zugeordnet werden. Abschließend werden konkrete Komponenten dieser Systeme benannt, die potentiell geschädigt bzw. betroffen werden können.

Alle relevanten Schadensszenarien, die durch Bedrohungen hervorgerufen werden können, wurden identifiziert und in Form einer Bedrohungs- und Schadenmatrix (**Anlage 2**) zusammengefasst. Dabei ist es sowohl möglich, dass ganze Tunnelabschnitte nicht mehr versorgt werden, als auch, dass die gemäß RABT vorgeschriebene Systemleistung nicht mehr vollständig erreicht werden kann. Die Länge des betroffenen Tunnelabschnitts kann von wenigen Metern (z.B. Ausfall einer Leuchte) bis zu mehreren 100 Metern (z.B. beim Ausfall eines Notausgangs) variieren. Die relevanten Dimensionen eines Schadensszenarios wurden im Zuge einer qualitativen Bewertungsmethodik festgelegt, bzw. im Zuge der quantitativen Untersuchung ermittelt.

3.3 Zusammenfassung

Grundsätzlich kann festgehalten werden, dass bei der Identifikation von potentiellen Bedrohungen und der Schäden die entstehen können, eine Vielzahl von Parametern in einem komplexen Wechselspiel zusammenwirken. Daher sind pauschale Aussagen zu Bedrohungen und Schadensszenarien nicht möglich. Jeder Tunnel ist abhängig von Charakteristika, Umgebungseinflüssen und der Funktion im Netz individuell zu bewerten. Um dies zu erreichen, wurde eine Bedrohungs-Schaden-Matrix (**Anlage 2**) entwickelt, die Bedrohungen verschiedenen Wirkungsorten zuordnet, so dass Sie erkennen können, welche Bedrohungen für welche Komponenten relevant sind und so die relevanten Bedrohungen für den individuell zu bewertenden Tunnel identifizieren können.

4 Auswirkungen von Schadensszenarien auf Tunnelbetrieb und Verkehr

4.1 Minimale Betriebsbedingungen

Um die Auswirkungen von Schadensszenarien auf den Tunnelbetrieb zu beurteilen und diesen in weiterer Folge optimieren zu können, wurden minimale Betriebsbedingungen erarbeitet. Dabei wird definiert, ob und unter welchen Bedingungen ein Straßentunnel nach dem Eintritt eines Schadensszenarios weiterhin betrieben werden darf. Unter Zuhilfenahme eventueller risikoreduzierender Kompensationsmaßnahmen wird so unter Einhaltung des geforderten Sicherheitsniveaus die Verfügbarkeit von Straßentunneln teilweise aufrechterhalten. Das frühzeitige Durchspielen bestimmter Szenarien und Vorabaufstellen minimaler Betriebsbedingungen hilft in der Phase reagieren. Somit wurde dieser Ansatz als eine ganz wesentliche Resilienzmaßnahme im Sinne des Business Continuity Management (BCM) für die Phase Erholung untersucht.

Business Continuity Management (BCM)

Prozesse werden im Zuge zunehmender Alterung, Überlastung, Klimawandel und IT-gestützter Betriebsabläufe anfälliger für Störungen. Auch das Outsourcing durch die Einbindung von Subunternehmer stellt den sicheren Betrieb vor neue Herausforderungen. Business Continuity Management (BCM) bezeichnet alle organisatorischen, technischen und personellen Maßnahmen, die zur Fortführung der Kernprozesse nach Eintritt eines Schadensszenarios dienen. Weiterhin unterstützt BCM die sukzessive Fortführung der Geschäftsprozesse bei länger anhaltenden Ausfällen oder Störungen. Die Anforderungen an ein BCM-System sind in ISO 22301 festgehalten. Auch das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) hat einen Standard in Bearbeitung (BSI Standard 200-4, Arbeitsstand 19.April 2019), der von Relevanz für das BCM im Sinne der IT-Sicherheit von Tunneln und Tunnelleitzentralen sein wird.

Um die Auswirkungen eines Ereignisses auf den Betrieb und die Verfügbarkeit eines Tunnels abschätzen zu können, ist es notwendig, ein Sicherheitskriterium festzulegen, welches den Grenzzustand zwischen tolerierbarem und kritischem Risiko definiert. Dies erfolgte durch die Entwicklung von *minimalen Betriebsbedingungen*, unter deren Einhaltung ein Tunnel in Folge eines disruptiven Ereignisses (temporär) betrieben werden darf.

Nach Eintritt eines Schadensszenarios muss untersucht werden, ob der Tunnelbetrieb weitergeführt werden kann bzw. welche zusätzlichen Kompensationsmaßnahmen erforderlich sind, um ein ausreichendes Sicherheitsniveau zu gewährleisten. Diese Frage stellt sich vorwiegend

im Fall der betriebstechnischen Schäden. Bei baulichen Schäden, die nicht die Standsicherheit des Bauwerks gefährden, wie auch bei versperrenden Schadensszenarien ergibt sich das jeweilige verkehrliche Betriebsszenario direkt aus den Anforderungen an die Beseitigung des Schadens (Instandsetzung) oder Hindernisses. Das aus den betriebstechnischen Schadensszenarien resultierende Risiko wurde mit qualitativen und quantitativen risikoanalytischen Methoden ermittelt und bewertet. Dies erfolgte in RITUN unter Anwendung des österreichischen Tunnelrisikomodells „TuRisMo“ gem. RVS 09.03.11. So wurden Schadensszenarien sowie die sicherheitstechnischen Kompensationsmaßnahmen quantitativ bewertet. Dieser Zusammenhang ist in Abbildung 4.1 dargestellt.

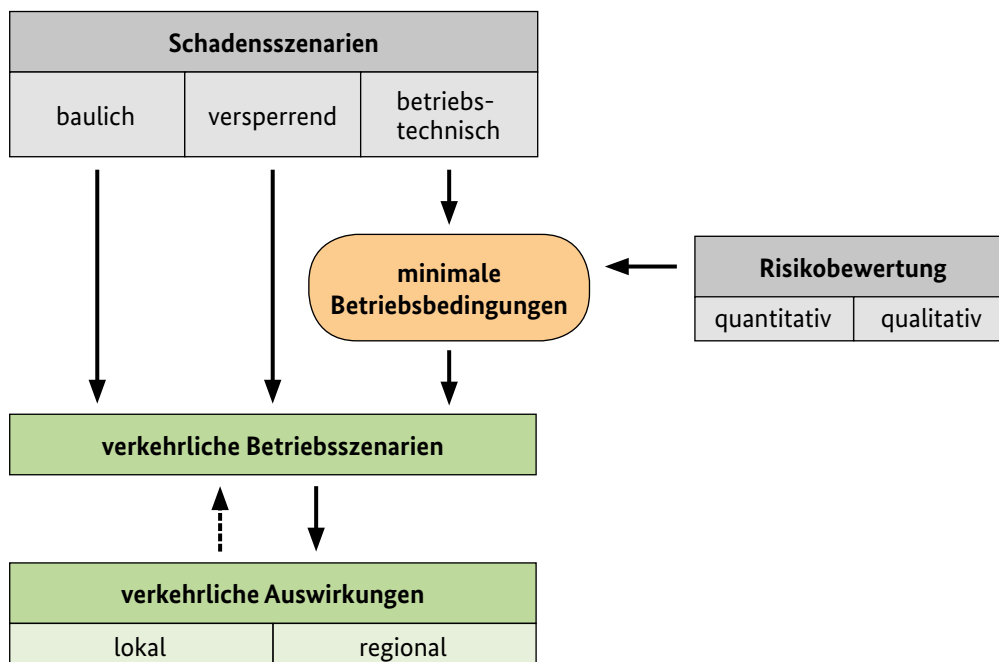


Abbildung 4.1: Zusammenhang der Schadensszenarien und des Tunnelbetriebs über minimale Betriebsbedingungen

Minimale Betriebsbedingungen für den temporären Betrieb von Straßentunneln

Die Untersuchungen zur qualitativen und quantitativen Bewertung der Schadensszenarien und Kompensationsmaßnahmen werden aufgrund des großen Umfangs an dieser Stelle nicht weiter erläutert. Die ausführliche Herleitung kann dem Kapitel 4 im AP3-Bericht entnommen werden. Diesen können Sie kostenlos auf der Website www.bast.de/ritun abrufen. An dieser Stelle werden nur Ergebnisse dargestellt, die für das Verständnis des Leitfadens relevant sind.

4.1.1 Anwendbarkeit im Sinne geltender Regelwerke

In einem nach RABT ausgestatteten Tunnel ist in Folge eines Schadensszenarios die Einhaltung des vorgeschriebenen Mindestsicherheitsniveaus in der Regel nicht mehr gegeben. Auf Grundlage von Risikoanalysen kann nachvollziehbar bewertet werden, ob die vorgegebenen Risikokriterien, eventuell unter Zuhilfenahme von Kompensationsmaßnahmen, erfüllt sind und so das normativ geforderte Sicherheitsniveau weiterhin eingehalten werden kann. In den RABT wird explizit darauf hingewiesen, dass Abweichungen von den in den Richtlinien getroffenen Festlegungen für den spezifischen Tunnel erlaubt sind, wenn das beschriebene Sicherheitsniveau nicht unterschritten wird.

Hierbei ist die Sicherheit der Nutzer die maßgebende Risikogröße. Als Referenzwert wird das Risiko in einem vollständig nach geltenden Vorschriften ausgestatteten Modelltunnel angesetzt. Dieser Referenzwert entspricht dem ersten von zwei Schwellenwerten, die die Risikoskala in drei Bereiche (siehe Abbildung 4.2) unterteilen.

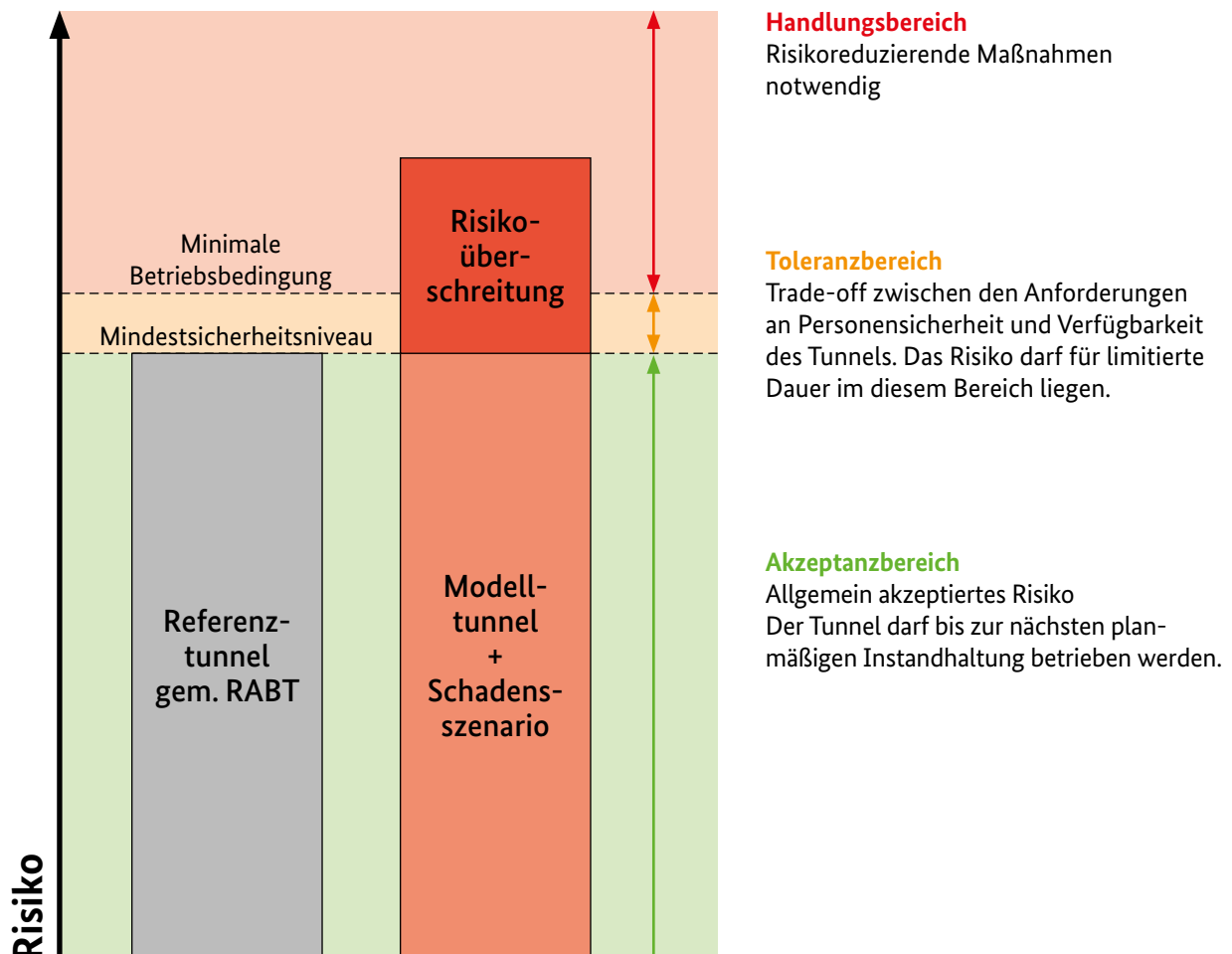


Abbildung 4.2: Schwellenwerte für zumutbare und untragbare Risiken in der Sicherheitsbewertung von Straßentunneln

Das Mindestsicherheitsniveau stellt die im Normalbetrieb mindestens zu gewährleistende Sicherheit und zugleich die Obergrenze des Akzeptanzbereichs gemäß allgemein gültigen Richtlinien und Regelwerken (z.B. RABT) dar. Der Toleranzbereich ist ein Bereich, in dem das Risiko aufgrund eines Schadensszenarios für eine limitierte Dauer liegen darf. Die Dauer sowie die Bandbreite kann von Entscheidungsträgern situativ festgelegt werden, in Abhängigkeit von Anforderungen an die Personensicherheit auf der einen Seite, und an die Verfügbarkeit des Tunnels auf der anderen Seite. Der Handlungsbereich ist ein Bereich des unzumutbaren Risikos, in dem eine Kompensation der Risikoerhöhung aufgrund eines Schadensszenarios zwangsläufig erforderlich ist, um die minimale Betriebsbedingung zu gewährleisten.

4.1.2 Methodik zur Bewertung von Schadensszenarien

Um die Verbesserung der Verfügbarkeit nach einem Ereignis unter Einhaltung von Mindestanforderungen an die Personensicherheit zu erreichen, wurde das in Abbildung 4.3 dargestellte Framework zur Bewertung von Schadensszenarien entwickelt. Dafür wird zuerst das Potential des Schadensszenarios bewertet, eine Risikoerhöhung herbeizuführen. Es wird angenommen, dass keine anderen Systeme in der Lage sind, den Ausfall von Ausstattungskomponenten zu kompensieren. Die Kompensation mittels alternativer, verfügbarer Systeme oder durch risikomindernde Maßnahmen wird in den nächsten Schritten betrachtet. Daraufhin kann entschieden werden, ob der Schaden im Zuge einer planmäßigen oder außerplanmäßigen Instandsetzung zu beheben ist.

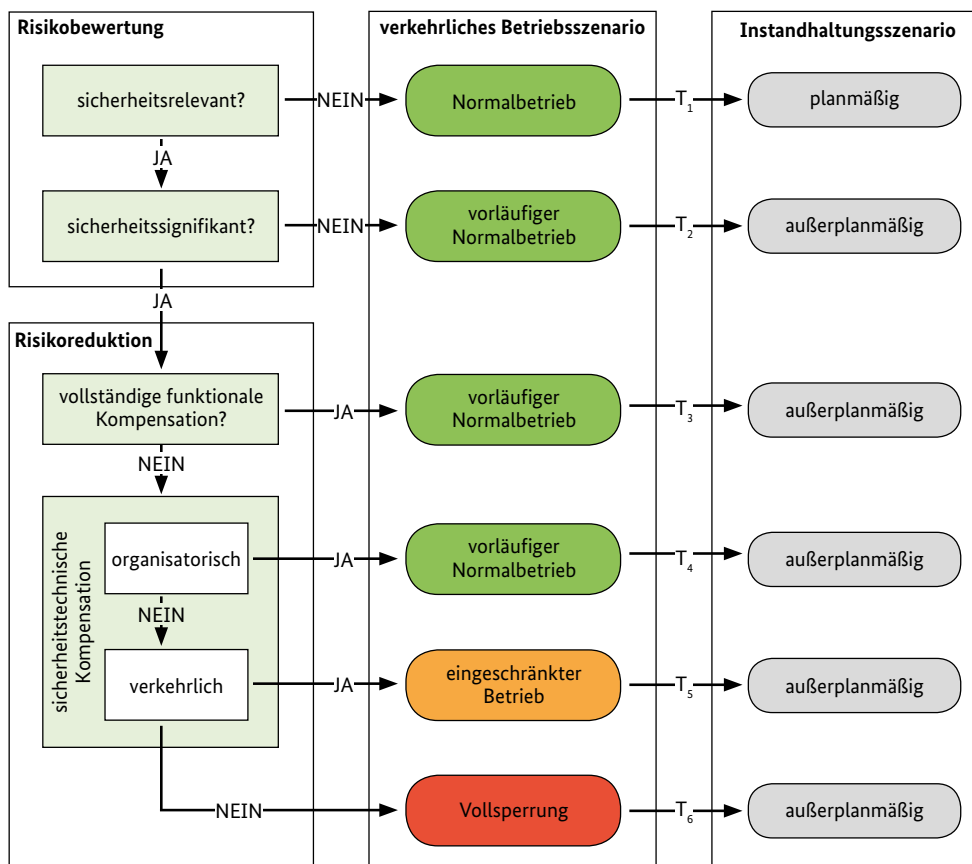


Abbildung 4.3: Framework zur Bewertung der Auswirkungen von Schadensszenarien auf Betrieb und Instandhaltung

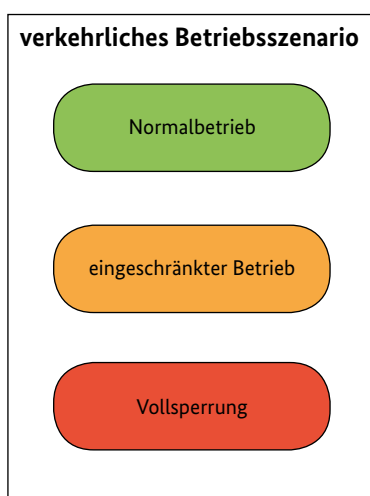
Erläuterungen zum Framework:

Die **Risikobewertung** erfolgt durch Bewertung der Sicherheitsrelevanz und Sicherheitssignifikanz. Sicherheitsrelevant sind alle Schadensszenarien, die durch ihr Auftreten relevante Auswirkungen auf die Sicherheit von Personen verursachen können. Sicherheitssignifikant sind alle Schadensszenarien, die eine Risikoüberschreitung des Toleranzbereichs aufweisen und zum Erreichen des Handlungsbereichs führen.

Eine **Risikoreduktion** der durch ein Schadensszenario erhöhten Risiken kann durch funktionale und sicherheitstechnische Kompensation erfolgen. Durch funktionale Kompensation kann der Schaden einer Komponente durch vorhandene Redundanzen oder durch andere Systeme vollständig oder teilweise kompensiert werden. Kann keine ausreichende Reduktion des Risikos durch funktionale Kompensation erreicht werden, muss durch zusätzliche sicherheitstechnische Maßnahmen gegengewirkt werden. Dabei können organisatorische und verkehrliche Maßnahmen zum Einsatz kommen und auch kombiniert werden.

Organisatorische Maßnahmen zur sicherheitstechnischen Kompensation haben keinen Einfluss auf den Verkehrsfluss, demnach kann hier in einen vorläufigen Normalbetrieb übergegangen werden. Sind jedoch verkehrliche Maßnahmen notwendig, ziehen diese ein eingeschränktes verkehrliches Betriebsszenario nach sich. Trotz eines ausreichenden Sicherheitsniveaus, unter Umständen sogar unter dem Referenzniveau, hat das Beheben des Schadens aufgrund der zum Teil erheblichen Auswirkungen auf den Verkehrsfluss hohe Priorität und sollte möglichst zeitnah erfolgen.

Technische Maßnahmen wie beispielsweise Videodetektion, Thermoscanner oder automatische Brandbekämpfungsanlagen, die nicht zur in den RABT geforderten Ausstattung gehören, können ebenso dazu beitragen, Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadensausmaß von Unfall und Brand zu reduzieren. Da diese i.d.R. nachgerüstet werden müssten, stellen Sie technische Reilienzmaßnahmen dar, die später im Kapitel 5 näher dargestellt werden.



Eine Einschränkung des **verkehrlichen Betriebs** im Sinne der Nutzersicherheit wird üblicherweise umgesetzt, wenn mit funktionaler Kompensation oder organisatorischer Maßnahmen das geforderte Sicherheitsniveau nicht hergestellt werden kann. Hierbei werden drei grundsätzliche verkehrliche Betriebsszenarien unterschieden, vom Normalbetrieb über eingeschränkte Betriebsszenarien, wie z.B. einer Geschwindigkeitsreduktion oder Fahrstreifensperre, bis hin zur Vollsperrung des Tunnels (s. Abbildung 4.4).

Abbildung 4.4: Kategorisierung der verkehrlichen Betriebsszenarien

Der Normalbetrieb kann aufrechterhalten werden, wenn keine verkehrlichen Maßnahmen erforderlich sind, um das Risiko in einen tolerablen, oder akzeptablen Bereich zu senken und so die Nutzersicherheit nicht eingeschränkt wird.

Auf den vorläufigen Normalbetrieb kann dann zurückgegriffen werden, wenn keine sicherheitssignifikante Gefährdung vorliegt und der Schaden nicht sofort behoben werden muss. Im Falle eines sicherheitssignifikanten Schadensszenarios kann der vorläufige Normalbetrieb nur durch Kompensation des erhöhten Risikos erreicht werden. Diese ist bis zum Zeitpunkt der Schadensbehebung kontinuierlich zu überprüfen. Wenn sich die Rahmenbedingungen des vorläufigen Normalbetriebs verändern, ist eine erneute Überprüfung des Sicherheitsniveaus und ggf. eine Anpassung des verkehrlichen Betriebsszenarios vorzunehmen.

Zur sicherheitstechnischen Kompensation durch verkehrliche Einschränkung eignen sich vorwiegend Geschwindigkeitsreduktionen oder Einschränkungen der Strecke für bestimmte Fahrzeugarten. Diese Maßnahmen haben somit einen eingeschränkten Betrieb zur Folge.

Eine Vollsperrung ist erforderlich, wenn einer Risikoerhöhung nicht bzw. nur unzureichend durch funktionale oder sicherheitstechnische Kompensation entgegengewirkt werden kann.

Das **Instandsetzungsszenario** wird abschließend im Framework betrachtet und unterscheidet planmäßige und außerplanmäßige Instandhaltungsszenarien. Das planmäßige Instandhaltungsszenario beschreibt dabei eine in den RABT geforderte Maßnahme zum Erhalt des Tunnelbauwerks und -betriebs.

Eine außerplanmäßige Instandhaltung wird immer dann erforderlich, wenn ein sicherheitsrelevantes Schadensszenario vorliegt. Da mit einer außerplanmäßigen Instandhaltung in der Regel verkehrliche Einschränkungen einhergehen, stoßen diese oft auf Unverständnis bei den Nutzern. So ist es im Interesse des Tunnelbetreibers, die Dauer und das Aufkommen außerplanmäßiger Instandhaltungsszenarien so gering wie möglich zu halten. Ggf. sind in der Praxis Maßnahmen zur Senkung des Nutzerrisikos in den Toleranzbereich ausreichend, um die Zeit bis zur nächsten planmäßigen Instandhaltung zu überbrücken.

4.2 Verkehrliche Auswirkungen









Die Auswirkungen der Schadensszenarien auf den Verkehr werden anhand zweier Betrachtungsebenen analysiert. Zuerst wird der Einfluss eingeschränkter Betriebsszenarien auf die Kapazität auf lokaler Ebene, also im unmittelbaren Bereich des Tunnels, ermittelt. Auf Grundlage dieser Ergebnisse können auch Effekte im umliegenden Straßennetz auf regionaler Ebene untersucht werden.

4.2.1 Verkehrliche Auswirkungen auf lokaler Ebene

Mithilfe mikroskopischer Verkehrssimulationen wird die Kapazität in Abhängigkeit der verkehrlichen Betriebsszenarien als Anteil des Normalbetriebs ermittelt, um so die verbleibende Verfügbarkeit eines Straßentunnels zu quantifizieren. Hierzu wird die Kapazität eines Straßentunnels im Normalbetrieb mit jeweils 100% angegeben. Eingeschränkte Betriebsszenarien haben zum Teil eine Reduktion der verkehrlichen Leistungsfähigkeit zur Folge, die verbleibende Kapazität wird mit dem entsprechenden prozentuellen Anteil angeführt.

Beispielhaft sind die Ergebnisse einiger verkehrliche Betriebsszenarien für Richtungsverkehrstunnel mit drei Fahrstreifen und Seitenstreifen in Tabelle 4.1 dargestellt. Detaillierte Informationen und sämtliche Ergebnisse der mikroskopischen Verkehrsmodellierung sind im entsprechenden Bericht zum AP4 unter www.bast.de/ritun verfügbar.

Tabelle 4.1: Kapazität dreistreifiger Richtungsverkehrstunnel in Abhängigkeit des Betriebsszenarios

verkehrliches Betriebsszenario		Kapazität (%)	
Bezeichnung	Schemaskizze	↓	↑
Normalbetrieb		100	100
Geschwindigkeitsreduktion 60 km/h		100	100
Geschwindigkeitsreduktion 40 km/h		100	90
Sperre eines Fahrstreifens, Geschwindigkeitsreduktion		100	65
Sperre zweier Fahrstreifen, Geschwindigkeitsreduktion		100	25
Sperre einer Röhre, GV-Betrieb in 2. Röhre 2:2		65	65
Sperre einer Röhre, GV-Betrieb in 2. Röhre 2:1		65	25
Vollsperrung		0	0

Legende zu Tabelle 4.1: ↑ Normalbetrieb, ↑ eingeschränkter Betrieb, ✗ Fahrstreifen gesperrt

Die Zusammenstellung der Schadensszenarien und ihre Auswirkungen auf Tunnelbetrieb und Verkehr finden Sie aufgrund der Größe als Abbildung als **Anlage 2** im Anhang des Leitfadens. Als bearbeitbare Datei können Sie sie auf der Projektwebsite (www.bast.de/ritun) abrufen.

4.2.2 Verkehrliche Auswirkungen in der Netzebene

In RITUN wurden die regionalen verkehrlichen Auswirkungen und die daraus folgenden gesamtwirtschaftlichen Kosten von Einschränkungen der Verfügbarkeit exemplarisch am Beispiel Tunnel Pfaffenstein und der Einhausung Bayreuth in Bayern, basierend auf der Verkehrsplanungssoftware PTV Visum 18, einem Teilnetz aus dem Verkehrsmodell PTV Validate 7.2 bewertet und anschließend ein Steuerungs- und Auswertemodul auf Basis von Microsoft Excel für die Nutzung entwickelt.

An dieser Stelle im Leitfaden werden nur die Ergebnisse der Untersuchung zu den verkehrlichen Auswirkungen in der Netzebene dargestellt. Das Verfahren, mit dem die Auswirkungen und volkswirtschaftlichen Kosten am Tunnel Pfaffenstein und der Einhausung Bayreuth ermittelt wurden, kann von der BASt kostenlos angefordert oder direkt auf www.bast.de/ritun heruntergeladen werden. Ein Bedienungshandbuch wird dort ebenfalls zur Verfügung gestellt. Das Verfahren kann auch dazu genutzt werden, um Alternativrouten für den Ereignisfall unter volkswirtschaftlichen Kostenaspekten auszuwählen. Voraussetzung hierfür ist die Nutzung der Software PTV Validate.

Für die beiden analysierten Tunnel wurden die Auswirkungen der Nichtverfügbarkeit bzw. eingeschränkten Verfügbarkeit für verschiedene Szenarien, die sich hinsichtlich der verkehrlichen Einschränkungen und der Dauer unterscheiden, quantifiziert. Die Auswirkungen wurden zunächst in einem Teilnetz des Verkehrsmodells Validate abgebildet. Die Modellergebnisse wurden genutzt, um anhand der Methodik des Bundesverkehrswegeplans 2030 gesamtwirtschaftliche Kosten aus Veränderungen der

- Reise- und Transportzeiten,
- der Betriebskosten,
- der Luftschadstoff- und Klimagasemissionen und des
- Unfallgeschehens

zu berechnen. Demnach kann die Nichtverfügbarkeit bzw. eingeschränkte Verfügbarkeit des Tunnels Pfaffenstein, je nach gewähltem Szenario, gesamtwirtschaftliche Kosten von bis zu ca. 760.000 €/Tag zur Folge haben. Für die Einhausung Bayreuth liegen die gesamtwirtschaftlichen Kosten mit bis zu ca. 920.000 €/Tag sogar darüber.

4.3 Zusammenfassung

Um die Auswirkungen von Schadensszenarien auf den Tunnelbetrieb zu beurteilen und unter Zuhilfenahme von risikoreduzierender Kompensationsmaßnahmen unter Einhaltung des geforderten Sicherheitsniveaus eine Tunnelsperrung zu vermeiden, wurden minimale Betriebsbedingungen erarbeitet. Es wird empfohlen, diese minimalen Betriebsbedingungen für Schadensereignisse bereits im Vorfeld zu untersuchen, um im Ereignisfall gegebenenfalls eine reduzierte Verfügbarkeit aufrecht erhalten zu können. Die Untersuchungen zu Auswirkungen der eingeschränkten Verfügbarkeit in der Netzebene zeigen ganz deutlich, dass die in Folge entstehenden volkswirtschaftlichen Kosten hoch sind und dadurch die Investitionen in Resilienzmaßnahmen rechtfertigen.

5 Maßnahmen zur Steigerung der Resilienz

Im folgenden Kapitel werden geeignete Resilienzmaßnahmen und die Methodik zur Bewertung ihrer Wirksamkeit vorgestellt, auf deren Grundlage diese ausgewählt werden können. Die identifizierten Maßnahmen werden dabei entsprechend dem Zeitpunkt ihrer Wirkungsentfaltung den verschiedenen Resilienzphasen zugeordnet. Diese können zudem dem zeitlichen Verlauf der Funktionalität zugeordnet werden, um die resilienzsteigernden Einflüsse der Maßnahmen nachvollziehbar darstellen zu können (Abbildung 5.1).

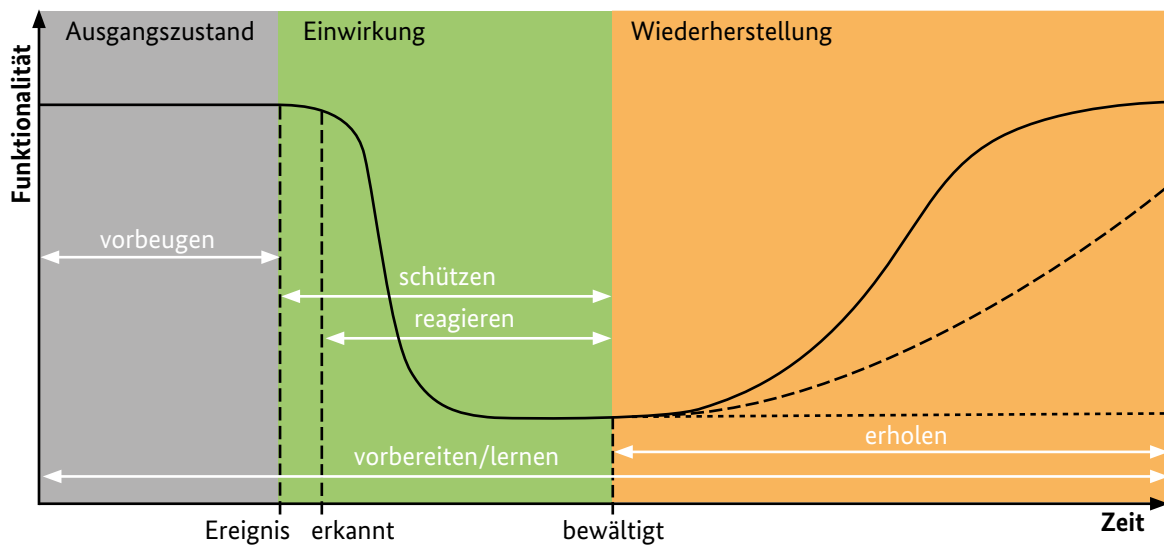


Abbildung 5.1: Zeitliche Zuordnung der Resilienzphasen zur Funktionalitätskurve

Resilienzmaßnahmen werden abhängig von ihrem Wirkungszeitpunkt wie folgt beschrieben:

Vorbeugende Maßnahmen wirken vor einem Ereignis, um die Eintrittswahrscheinlichkeit von disruptiven Ereignissen zu reduzieren.

Schützende Maßnahmen sind passive Maßnahmen, die nach Eintreten eines disruptiven Ereignisses bis zu dessen Bewältigung wirken, um bestimmte Schadensszenarien zu verhindern oder abzumildern.

Reaktive Maßnahmen sind aktive Maßnahmen, die nach dem Erkennen eines disruptiven Ereignisses eingeleitet werden und bis zu dessen Bewältigung wirken, um bestimmte Schadensszenarien zu verhindern oder abzumildern.

Erholende Maßnahmen wirken nach Bewältigung eines disruptiven Ereignisses, um eine schnellstmögliche Rückkehr zur ursprünglichen Funktionalität zu ermöglichen.

Vorbereitende Maßnahmen und Lernen sind kontinuierlich betriebene Maßnahmen, die ihre Wirksamkeit über alle Phasen hinweg entfalten und bekannte sowie neue Schwachstellen härten.

5.1 Kategorisierung von Resilienzmaßnahmen

Die Maßnahmen werden im ersten Schritt entsprechend der Abbildung 5.2 in **Präventive** und **Mitigative Maßnahmen**, die vor bzw. nach dem Eintritt des Schadensszenarios wirken, unterschieden.

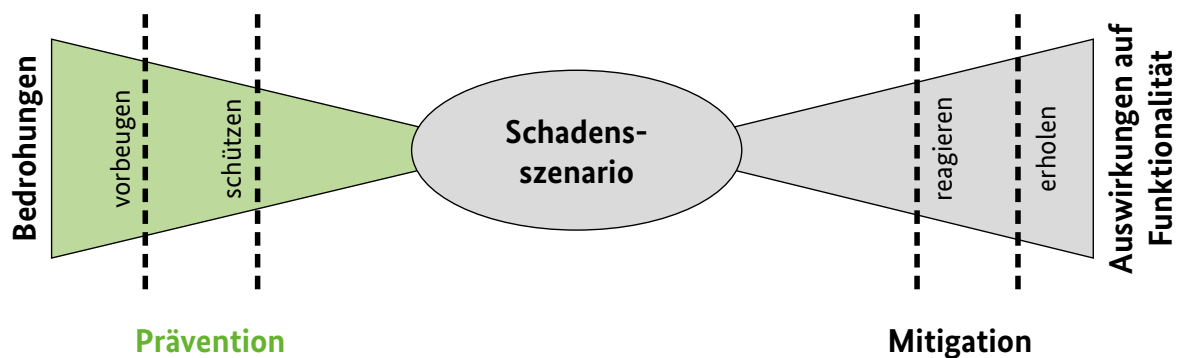


Abbildung 5.2: Einteilung nach Prävention und Mitigation von Schadensszenarien

Für die genaue Zuordnung der Maßnahmen werden folgende Kategorien gewählt:

Prävention P

- P1 Überwachen und Erhalten des technischen Zustands des Tunnels („vorbeugen“)
- P2 Verhindern disruptiver Ereignisse („vorbeugen“)
- P3 Verhindern bzw. Abmildern von Schadensereignissen aufgrund disruptiver Ereignisse („schützen“)

Mitigation M

- M1 Verringerung des Funktionalitätsverlustes infolge Schadensszenarien („reagieren“)
- M2 Rasche Wiederherstellung der Funktionalität („erholen“)

Führung & Kultur F (ohne weitere Unterkategorien)

- F Vorbereitende Maßnahmen wie etablieren einer Resilienzkultur
- F Bewusstseinsbildende Maßnahmen (lernen)

Zudem werden die Maßnahmen zwischen ihrer Wirkungsarten auf

- organisatorischer (O) und
- technischer (T)

Ebene unterschieden.

Hieraus ergibt sich die Indexierung für die Kategorisierung einzelner Maßnahmen wie folgt aus

- Kategorie (P, M, F)
- Unterkategorie (1..n)
- Wirkungsart (T, O) und dazugehöriger laufender Nummer

Auf Grundlage dieser Struktur werden die identifizierten Maßnahmen in den folgenden Übersichtstabellen zusammengefasst.

Tabelle 5.1: Überblick der Resilienzmaßnahmen der Kategorie „Prävention P“

Prävention P	Unterkategorie	P1 Überwachen und Erhalten des technischen Zustandes
	Wirkungsart	organisatorisch
	P1 – O1	optimierte Wartungsintervalle
	P1 – O2	Einführung eines Anlagengesundheitssystems
	P1 – O3	Instandhaltungs- und Wartungsmanagementsystem (über die Empfehlungen der RABT hinaus)
	Wirkungsart	technisch
	P1 – T1	Installation zusätzlicher Sensoren zur Überwachung des technischen Zustands
	Unterkategorie	P2 Verhindern disruptiver Ereignisse
	Wirkungsart	organisatorisch
	P2 – O1	Zugriffsregelung für Bestandsunterlagen
	P2 – O2	Beschränkung für Gefahrguttransporte
	P2 – O3	Gefahrenanalyse
	P2 – O4	Expositionsanalyse
	P2 – O5	Vereinbaren von Verfügbarkeitswerten mit Dienstleistern, z.B. Strom, Datenanbindung, Wasser
	Wirkungsart	technisch
	P2 – T1	Pegelstandmonitoring
	P2 – T2	Thermoscanner
	P2 – T3	Lawinenverbauung
	P2 – T4	Steinschlagverbauung
	P2 – T5	vorbeugende Lawinensprengung
	P2 – T6	Schneezaun
	P2 – T7	höheres Lichtraumprofil
	P2 – T8	Gasdetektoren
	P2 – T9	Testumgebung für Software-Updates
	P2 – T10	Vermeiden großer Längsneigungen
	Unterkategorie	P3 Verhindern bzw. Abmildern von Schadensereignissen aufgrund disruptiver Ereignisse
	Wirkungsart	organisatorisch
	P3 – O1	Verwundbarkeitsanalyse
	P3 – O2	physisches Zutrittsmanagement
	P3 – O3	Infektionsschutz

Fortsetzung von Tabelle 5.1

Prävention P	Wirkungsart	technisch
	P3 – T1	Windschutzpaneele
	P3 – T2	Windgeschwindigkeitswarnanlage
	P3 – T3	Rammschutz
	P3 – T4	Bemessung / Konstruktion für seismische Belastung
	P3 – T5	Schutzmaßnahmen gegen Wasserzutritt im Tunnel
	P3 – T6	automatische Brandbekämpfungsanlage
	P3 – T7	Hochwasserschutz Elemente
	P3 – T8	baulicher Explosionsschutz
	P3 – T9	baulicher Brandschutz
	P3 – T10	Schutz sicherheitstechnischer Ausrüstung im Tunnel vor physischen Zugriffen
P3 – T11	Softstop Barrier	

Tabelle 5.2: Überblick der Resilienzmaßnahmen der Kategorie „Mitigation M“

Mitigation M	Unterkategorie	M1 Verringerung des Funktionalitätsverlustes durch Schadensszenarien
	Wirkungsart	organisatorisch
	M1 – O1	Schulung der Einsatzkräfte
	M1 – O2	TLZ-Operatoren Training, Schulung von Personal für den Notbetrieb aus der Meisterei
	M1 – O3	Videoüberwachung von Tunnel mit einer Länge < 400 m
	M1 – O4	Erkennen (potentieller) Angriffe
	M1 – O5	Kommunizieren von Einschränkungen an Betroffene
	Wirkungsart	technisch
	M1 – T1	Zugriffskontrolle sicherheitstechnischer Ausstattung
	M1 – T2	Vergrößerung des Löschwasservorrates
	M1 – T3	Stationäres bzw. mobiles Notstromaggregat
	M1 – T4	Back-up Control Center / Redundante TLZ
	M1 – T5	Videodetektion
	M1 – T6	Akustisches Tunnelmonitoring (AKUT)
	M1 – T7	Gefahrguterkennung
	M1 – T8	ITCC Integration (International Tunnel Control Center)
	M1 – T9	Sicherstellung des Zugriffes auf informationstechnische Komponenten
	M1 – T10	Separate Serviceröhre für Instandhaltungsarbeiten

Fortsetzung von Tabelle 5.2

Mitigation M	Unterkategorie	M2 Rasche Wiederherstellung der (Teil-)Funktionalität
	Wirkungsart	organisatorisch
	M2 – O1	Beschleunigte Genehmigungs- und Vergabeprozesse
	M2 – O2	beschleunigte Baubewilligung
	M2 – O3	Definition / Überprüfen von Umleitungsstrecken
	M2 – O4	multimodale Alternativen
	M2 – O5	Seitenstreifenfreigabe
	M2 – O6	Definition minimaler Betriebsbedingungen
	M2 – O7	Lagerung von Ersatzteilen
	M2 – O8	Einsatz modularer Systeme für mehrere Tunnel
	M2 – O9	Rahmenverträge Instandhaltung
	M2 – O10	betriebseigenes elektrotechnisch geschultes Personal
	M2 – O11	Betrieb im temporären Gegenverkehr
	M2 – O12	Vereinbarung fester Raten mit Dienstleistern
	Wirkungsart	technisch
	M2 – T1	Querschnitte mit (befahrbarem) Seitenstreifen
	M2 – T2	Ausstattung von RV-Tunneln für temporären GV-Betrieb

Tabelle 5.3: Kategorisierung der Resilienzmaßnahmen der Kategorie „Führung & Kultur F“

Führung & Kultur F	Wirkungsart	Inhalt
	F – O1	Verantwortlichkeiten festlegen
	F – O2	Resilienzkultur etablieren
	F – O3	Kampagnen zur Benutzerinformation
	F – O4	Best Practice Austausch
	F – O5	Security Bewusstseinsbildung
	F – O6	Bereitstellung eines "Resilienz-Budgets"
	F – O7	Aufarbeitung vergangener Ereignisse ("Learning")
	F – O8	Aktuelle Dokumentation
	F – O9	Integration von Resilienz in AGAP
	F – O10	Erweiterte Ereignisdatenbank
	F – O11	Unterstützung durch Kollegen aus anderen Dienststellen
	F – O12	Kostenteilung mit anderen Betroffenen / Profiteuren von Schutzmaßnahmen
	F – O13	Austausch von Daten mit anderen Behörden (rechtliche Bedingungen, techn. Lösung)
	F – O14	Ergonomische Gestaltung der TLZ-Bedienoberflächen

5.2 Bewertung von Resilienzmaßnahmen

Um die gezielte Auswahl von Maßnahmen unter Berücksichtigung aller Parameter zu vereinfachen, wurde eine Methodik entwickelt, auf deren Grundlage die Maßnahmen bereits bewertet wurden. Hierbei wird teilweise auf ein dreistufiges Ampelsystem zurückgegriffen, um die Charakteristika einfach visuell erfassbar zu gestalten. Alle Maßnahmen mit ihren zugehörigen Bewertungen finden Sie als bearbeitbare Datei auf der Projektwebsite (www.bast.de/ritun) und als Überblickgrafik in **Anlage 3**. Im Folgenden werden die zugrunde liegenden Bewertungsparameter erläutert.

5.2.1 Bewertungsparameter Verfügbarkeit

Der Parameter Verfügbarkeit zeigt an, wie (präventiv und/oder mitigativ) und in welchem Ausmaß die Maßnahme wirkt. Dabei wurden vor allem Einflüsse auf die verkehrlichen Auswirkungen, wie eine Reduktion der Kapazität oder die Dauer eines eingeschränkten Betriebs, untersucht.

#	Maßnahme	Verfügbarkeit	
		Prävention	Mitigation
P1	Überwachen und Erhalten des technischen Zustandes		
P1 – O1	optimierte Wartungsintervalle	●	●
P1 – O2	Einführung eines Anlagengesundheitssystems	●	●
P1 – O3	Instandhaltungs- und Wartungsmanagementsystem (über die Empfehlungen der RABT hinaus)	●	●
P1 – T1	Installation zusätzlicher Sensoren zur Überwachung des technischen Zustands	●	●

Abbildung 5.3: Bewertung der Maßnahmen bzgl. ihres Einflusses auf die Verfügbarkeit durch Prävention bzw. Mitigation

5.2.2 Bewertungsparameter Synergieeffekte

Mögliche Synergieeffekte, die sich durch die Umsetzung der Maßnahmen ergeben können, wurden ebenfalls bewertet, da diese die Kosteneffizienz von Maßnahmen erheblich beeinflussen können, wenn Resilienz steigernde Effekte in gleich mehreren Bereichen erreicht werden.

Synergieeffekte			
Sicherheit	objektübergreifend	tunnelübergreifend	bedrohungsübergreifend
●	J	J	J
●	N	N	J
●	N	J	J

Abbildung 5.4: Bewertung der Maßnahmen bzgl. Synergieeffekten

Bewertet werden dabei:

- Synergieeffekte für die Sicherheit

Als Grundvoraussetzung wird der Einfluss auf die Tunnelsicherheit beurteilt. Zu berücksichtigende Aspekte dabei sind beispielsweise die Auswirkungen der Maßnahmen auf die Häufigkeit personengefährdender Ereignisse und die Rahmenbedingungen zur Selbst- bzw. Fremddrettung. Führt eine Resilienzmaßnahme zur Einschränkung der Sicherheit (rotes Ampelzeichen), sind für den Fall der Implementierung zusätzliche Sicherheitsmaßnahmen umzusetzen.

- Objektübergreifende Synergieeffekte

Maßnahmen können neben der Wirkung im Tunnel selbst (Objektebene) auch Effekte am umliegenden Straßennetz (Netzebene) erzielen. Diese sind insbesondere in den Maßnahmen der Kategorie „Führung & Kultur F“ vorhanden.

- Tunnelübergreifende Synergieeffekte

Viele der Maßnahmen zeigen ihre Wirkung nicht nur an einem, sondern unmittelbar an mehreren Tunneln. Dies kann beispielsweise durch Maßnahmen an der Tunnelleit-zentrale erreicht werden.

- Bedrohungsübergreifende Synergieeffekte

Zudem wird dargestellt, ob eine Maßnahme ihre Wirkung spezifisch für eine Bedrohung, oder aber bedrohungsübergreifend entfaltet.

5.2.3 **Bewertungsparameter Realisierbarkeit**

Maßnahmen wurden im Hinblick auf ihre Realisierbarkeit in Bestands- und Neubautunneln bewertet. Im Neubau stellt die rein technische bzw. organisatorische Umsetzung an sich nur in den wenigsten Fällen ein Problem dar. Mögliche Schwierigkeiten ergeben sich aus zusätzlichen Kosten oder geometrischen Begebenheiten beispielsweise aus eingeschränkten Platzverhältnissen, verkehrlichen Anforderungen des DTVs oder aus Zwangspunkten der Trassierung. Im Fall der Implementierung von Resilienzmaßnahmen bei Bestandstunneln kommen Faktoren wie die benötigte Dauer zur Umsetzung, verkehrliche Einschränkungen im Zuge der Umsetzung im Tunnel oder die Notwendigkeit der Anpassung bestehender Strukturen zum Tragen. Nicht zuletzt spielt bei der Maßnahmenumsetzung auch die Akzeptanz bei den entsprechenden Stakeholdern eine entscheidende Rolle.

#	Maßnahme	Bestand			Neubau		
		Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen
P1	Überwachen und Erhalten des technischen Zustands						
P1 – O1	optimierte Wartungsintervalle	●	●		●	●	
P1 – O2	Einführung eines Anlagen-gesundheitssystems	●	●		●	●	
P1 – O3	Instandhaltungs- und Wartungsmanagementsystem (über die Empfehlungen der RABT hinaus)	●	●		●	●	
P1 – T1	Installation zusätzlicher Sensoren zur Überwachung des technischen Zustands	●	●		●	●	

Abbildung 5.5: Bewertung der Realisierbarkeit differenziert nach Neubau und Bestand

5.2.4 Bewertungsparameter Kosten

Dieser Parameter berücksichtigt die Größenordnung der Kosten der Maßnahmenumsetzung unabhängig von ihrer Wirkung. Die Kosten von Maßnahmen ergeben sich aus:

- den Investitionskosten
- den Betriebs- und Instandhaltungskosten über die Lebensdauer
- den (gesamtwirtschaftlichen) Kosten der temporären Verkehrsbeeinträchtigung

Die Kosten können dann verglichen werden mit den:

1. Zu erwartenden Schäden und Verlusten, wenn keine Maßnahmen ergriffen werden.
2. Reduzierten Schäden und Verlusten, die nach Implementierung von Maßnahmen zu erwarten sind.

Organisatorische Maßnahmen sind i.d.R. am einfachsten umsetz- und anpassbar. Sie wirken oft auch tunnel- und bedrohungsübergreifend. Wesentliche Kosten entstehen durch Schulungen der Mitarbeiter, die Beschaffung neuer Arbeitsmittel sowie im Rahmen der Umorganisation.

Bei technischen und baulichen Maßnahmen muss zwischen Bestand und Neubau unterschieden werden. Nachrüstungen wie die Installation zusätzlicher Sensoren, einer Hochdrucksprühnebelanlage oder eines Rammschutzes können oft nicht ohne Verkehrsbeeinträchtigung umgesetzt werden. Dazu kommen weitere Kosten durch die Wartung und Instandhaltung sowie die damit verbundenen Verkehrsbeeinträchtigungen.

5.3 Maßnahmenauswahl

Für die Entscheidung, ob eine Maßnahme als „empfohlen“ eingestuft wird, muss das Zusammenwirken der vorgestellten Bewertungsparameter bewertet werden.

Verfügbarkeit		Wechselwirkung				Bestand			Neubau		
Prävention	Mitigation	Sicherheit	objektübergreifend	tunnelübergreifend	bedrohungsübergreifend	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen
● ● ●	● ● ●	● ● ●	J/N	J/N	J/N	● ● ●	● ● ●	J/N	● ● ●	● ● ●	J/N

Abbildung 5.6: Übersicht der Bewertungsparameter von Resilienzmaßnahmen

Die **Anlage 3** enthält sämtliche Resilienzmaßnahmen, die bereits anhand der vorgestellten Methodik bewertet wurden. Die Auswahl bzgl. der Umsetzung einer bestimmten Maßnahme ist objektspezifisch vorzunehmen. Über die Methodik werden die Maßnahmen zwar grundsätzlich priorisiert, objektspezifisch können allerdings auch andere Maßnahmen geeignet sein, um die Resilienz zu steigern. Daher werden Ihnen die Tabellen zur Bewertung der Maßnahmen als bearbeitbare Datei zur Verfügung gestellt, damit Sie Ihre eigene objektspezifische Bewertung vornehmen können. Sie können diese auf der Projektwebsite auf www.bast.de/ritun herunterladen.

Um Sie bei der Auswahl von Maßnahmen zu unterstützen wurden so genannte Fact-Sheets für jede einzelne Maßnahme entwickelt, die Sie auf der Projektwebsite abrufen können. Diese enthalten Informationen bzgl. der Maßnahmen zu:

- der zugehörigen Resilienzphase
- dem Wirkungsort
- der Implementierung (Bauwerks-, Ereignis-, Verkehrs-, Naturgefahrenmanagement, Führungsebene)
- dem Anwendungsfall (Neubau, Bestand)
- dem Zeithorizont (kurzfristig, mittelfristig, langfristig, nicht relevant)
- Wechselwirkungen mit:
 - Personensicherheit
 - Objektübergreifend
 - Tunnelübergreifend
 - Bedrohungsübergreifend
- den Verantwortlichen für die Umsetzung

In **Anlage 4** ist exemplarisch das Fact Sheet für die Resilienzmaßnahme „Ausstattung von RV-Tunneln für temporären GV“ (M2-T2) aufgeführt. Alle Fact Sheets können auf der Projektwebsite abgerufen werden.

Das Ziel der Steigerung der Verfügbarkeit hat immer unter Gewährleistung der Aufrechterhaltung ausreichender Verkehrssicherheit zu erfolgen. Häufig entstehen durch die Implementierung von Resilienzmaßnahmen positive Effekte für die Verkehrssicherheit. Allerdings kann auch das Gegenteil der Fall sein. Beispiele hierfür sind der Betrieb im Gegenverkehr in einem Richtungsverkehrstunnel oder die Seitenstreifenfreigabe im Tunnel. Ohne zusätzliche risikomindernde Maßnahmen sowie entsprechender Ausstattung kann das ursprüngliche Sicherheitsniveau häufig nicht erhalten werden.

Resilienzparadoxon

Bei der Auswahl und späteren Umsetzung von Resilienzmaßnahmen muss berücksichtigt werden, dass einige der Resilienzmaßnahmen neben der Verbesserung der Verfügbarkeit zugleich neue Abhängigkeiten schaffen bzw. neue Angriffsflächen öffnen können. Daher sollten diese bereits vor Umsetzung identifiziert und gehärtet werden.

Beispiele:

- Zusätzliche Sensorik (zunehmende Unübersichtlichkeit und wachsende Anzahl an Signalen, die der Betreiber zu überprüfen bzw. bei Entscheidungen zu berücksichtigen hat) (z.B. P1-T1, P2-T2)
- Zunehmende Automatisierung zur Unterstützung des Betriebspersonals (alltägliche Arbeit wird (zu stark) vereinfacht, Personal ist ggf. nicht geübt, schwierige Situationen auch ohne diese Unterstützung zu bewältigen) (z.B. P1-O2, P1-O3)
- Zunehmende Vernetzung (Teilen sensibler Informationen oder Schaffen von neuen Abhängigkeiten) (z.B. F-O13)

5.4 Zusammenfassung

Für die Auswahl geeigneter Resilienzmaßnahmen wurde bewusst auf eine einfache Methodik zurückgegriffen. Die Maßnahmen wurden abhängig von ihrer Wirkungsentfaltung in Präventive und Mitigative Maßnahmen gruppiert. Ergänzt werden diese durch Maßnahmen der Kategorie Führung und Kultur, die die Etablierung einer Resilienzkultur in der gesamten Organisation ermöglichen sollen. Für die Auswahl der Resilienzmaßnahmen wurden Parameter formuliert, die die Auswirkungen auf die Verfügbarkeit, Synergieeffekte, Realisierbarkeit und entstehende Kosten qualitativ bewerten. Zusätzlich wurden Fact Sheets entwickelt, die detaillierte Informationen zu den einzelnen Resilienzmaßnahmen enthalten.

6 Abschließende Anmerkungen zur Resilienz von Straßentunneln

Die Verbesserung der Resilienz von Straßentunneln erfordert die Fähigkeit, Gefahren und Situationen zu erkennen und zu bewerten, Entscheidungen zu treffen und aus Erfahrungen zu lernen. Ausreichende Reserven und Redundanzen sind notwendige Voraussetzungen um chronische Überlastung bestimmter Ressourcen zu vermeiden. Kernaufgaben müssen definiert und für diese ausreichende Ressourcen wie bspw. gut ausgebildetes Personal oder Ersatzteile sowie die nötigen Informationen vorhanden sein, um im Falle disruptiver Ereignisse die Kernprozesse zuverlässig mit einem Mindestmaß an Sicherheit aufrecht erhalten zu können und parallel die nötigen Maßnahmen zur Bewältigung einzuleiten und umzusetzen. Dabei geht es nicht nur um die Ressourcen und Reserven der eigenen Organisation (auch über Standortgrenzen hinweg), sondern auch um die von Dienstleistern, Lieferanten und Einsatzorganisationen sowie um die Vermeidung von übermäßigen Konzentrationen von Ressourcen und Funktionen an einer Stelle.

Entsprechend aktuelle Dokumentation, standardisierte Tools, klar definierte Aufgaben und Verantwortlichkeiten sowie gemeinsame Übungen für solche Fälle sind Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung. Mit Dienstleistern vorab vertraglich vereinbarte Preise helfen, überzogene Kosten während der Bewältigung von Krisen zu vermeiden. Darüber hinaus sollten Möglichkeiten geprüft werden, um zügig mit Wiederherstellungsarbeiten beginnen zu können. Dazu gehören Rahmenverträge, die auch Krisenfälle abdecken, vereinfachte Beschaffungs- und Vergabeverfahren und die Möglichkeit, Anzahlungen und Vorschüsse zu zahlen. Auch Möglichkeiten von Lagerhaltung sowie der Beschaffung von Ersatzteilen auch bei Lieferengpässen müssen in Erwägung gezogen werden.

Da die komplexen Abhängigkeiten nur schwer zu überblicken sind, kommen einer umfassenden Risikobewertung und ggf. der Fähigkeit, einen Mindestbetrieb mit eigenen Kräften aufrecht erhalten zu können, immer größere Bedeutung zu. Entsprechende Risikoanalysen müssen also Bedrohungen für die Betriebsorganisation und für die zentralen Einrichtungen wie Tunnelleitzentralen wie z.B. die Erreichbarkeit von Warten, Autobahnmeistereien, Lagerplätzen etc. oder Auswirkungen von bspw. Epidemien einbeziehen.

Auch die Zusammenarbeit mit anderen Organisationen, zu denen gegenseitige Abhängigkeiten bestehen, wie zum Beispiel Versorgern (Strom, Wasser und Datenanbindungen) und Tunnelnutzern (z.B. Rettungsdiensten) müssen im Vorfeld abgestimmt werden.

Grundlage für zielführende Entscheidungen sind aktuelle und genaue Daten über die Verfügbarkeit von Ressourcen, den tatsächlichen Zustand der Systeme, alternative Routen und deren Auslastung, voraussichtliche Dauer für die Wiederherstellung der vollen Funktionalität und ähnliches. Dazu kann es nötig sein, über die Vorgaben der RABT / EABT hinaus Daten in Tunneln und entlang der Strecken zu erfassen, mit anderen Stellen auszutauschen und Nutzern zur Verfügung zu stellen. Moderne Technologien können sowohl in einem immer dynamischer werdenden Berufsalltag als auch bei der Bewältigung von disruptiven Ereignissen helfen. So ist es heute möglich, Personal vor Ort (im Tunnel) Zugriff auf zentrale Systeme zu geben und durch Experten von Remote unterstützen zu lassen. Voraussetzung hierfür ist eine gute daten-technische Anbindung und entsprechende Cyber-Security Maßnahmen.

Über die im Leitfaden vorgestellten technischen und organisatorischen Maßnahmen hinaus kommt der Etablierung einer organisationsweiten Resilienzkultur eine entscheidende Bedeutung zu. Allen Mitarbeitern muss es erlaubt sein, Schwachstellen anzusprechen sowie Verbesserungsvorschläge zu erarbeiten und umzusetzen. Oft wissen die Mitarbeiter aus ihrer täglichen Arbeit, welche Prozesse und Instrumente gut bzw. weniger gut funktionieren. Besonders nach der Bewältigung von disruptiven Ereignissen sollte kritisch Bilanz gezogen werden. In „Lessons Learned“ Workshops kann erfasst werden, was bei der Bewältigung der Ereignisse gut gelaufen ist und was verbessert werden muss. Dieses Wissen gilt es zu erfassen und allen, die es benötigen, verfügbar zu machen. Und zwar so, dass das Wissen dann und dort verfügbar ist, wo es zur Erledigung der Aufgaben benötigt wird.

Organisatorische Resilienz

Die internationale Norm ISO 22316 „Sicherheit und Resilienz - Resilienz von Organisationen - Grundsätze und Attribute“ definiert die Prinzipien für organisatorische Resilienz sowie die Attribute und Aktivitäten, die einer Organisation helfen, ihre Resilienz zu erhöhen. Von zentraler Bedeutung für die Resilienz einer Organisation sind dabei:

- Eine entsprechende Kultur
- Ausreichend Ressourcen
- Die Fähigkeit zur Zusammenarbeit mit anderen Organisationen und Betroffenen
- Die Fähigkeit zu Lernen
- Aktuelle und zuverlässige Informationen und Kommunikation

7 Literaturverzeichnis

AllTraIn Konsortium. (2015). AllTraIn - All-Hazard Guide für Transportinfrastrukturen. Bergisch Gladbach, Deutschland: AllTraIn Konsortium.

Bundesministerium des Innern. (2009). Nationale Strategie zum Schutz Kritischer Infrastrukturen (KRITIS Strategie). Berlin: Bundesministerium des Innern.

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).

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

Wieland, A., & Wallenburg, C. M. (2013). The Influence of Relational Competencies on Supply Chain Resilience : A Relational View. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, Vol. 43, No. 4, S. 300-320

8 Anlagen

Sämtliche Anlagen werden im Rahmen des Handbuchs nur exemplarisch abgedruckt um deren Gebrauch kurz zu beschreiben. Die Dokumente sind auf der Projekthomepage unter www.bast.de/ritun verfügbar. Die Anlagen 2 und 3 werden in bearbeitbarer Form zur Verfügung gestellt, um bei der Anwendung objektspezifische Randbedingungen berücksichtigen zu können.

Anlage 1: Bedrohung-Schaden-Matrix

Die Bedrohung-Schaden-Matrix ordnet Bedrohungen verschiedenen Tunnelkomponenten zu, an denen Schäden auftreten können. So nutzen Sie die Matrix:

- Betrachten Sie die Matrix innerhalb einer Spalte von oben nach unten, können Sie potentiell gleichzeitig auftretende Schadensszenarien infolge einer bestimmten Bedrohung identifizieren.
- Betrachten Sie die Matrix in der Zeile nach von links nach rechts, können Sie erkennen, welche Bedrohungen für einzelne Systeme von Relevanz sind, um so Bedrohungen für den zu bewertenden Tunnel identifizieren zu können.

Anlage 2: Schadenszenarien und ihre Auswirkungen auf Tunnelbetrieb und Verkehr

Die Auswirkungen aller Schadenszenarien auf den Tunnelbetrieb und den Verkehr werden in tabellarischer Form dargestellt. Der Aufbau dieser Anlage beruht auf der Methodik zur Bewertung von Schadenszenarien, wie sie in Kapitel 4.1.2 erläutert wird.

Anlage 2: Schadenszenarien und ihre Auswirkungen auf Tunnelbetrieb und Verkehr

#	Kategorie	Schadenszenario		Bewertungsmethodik	Sicherheitsrelevanz	Sicherheitsniffranz	funktionale Kompensation	Anteil	sicherheitstechnische Kompensation		verkehrliches Betriebsszenario	Anmerkungen
		System	Komponente						Fehlermodus	organisatorische Maßnahmen		
1	baulich	Bauwerk	einzelne Tunnelröhre	Verlust der Stand-sicherheit							Vollsperrung	in der betroffenen Röhre
2	baulich	Bauwerk	alle Tunnelröhren	Verlust der Stand-sicherheit							Vollsperrung	in allen Röhren
3	baulich	Bauteil	Innenschale	Tragfähigkeit beeinträchtigt							Vollsperrung	in den betroffenen Röhren
4	baulich	Bauteil	Innenschale	Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt, einzelner Fahrstreifen betroffen							Normalbetrieb	in den betroffenen Röhren
5	baulich	Bauteil	Innenschale	Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt, gesamter Querschnitt							Normalbetrieb	Normalbetrieb bis zur Durchführung der Reparaturarbeiten, verkehrliches Betriebsszenario während der Instandsetzung ergibt sich aus den Platzanforderungen der Bauarbeiten
6	baulich	Bauteil	Zwischen-decke	Tragfähigkeit beeinträchtigt							Vollsperrung	in den betroffenen Röhren
7	baulich	Bauteil	Zwischen-decke	Tragfähigkeit nicht beeinträchtigt, einzelner Fahrstreifen betroffen							Normalbetrieb	Normalbetrieb bis zur Durchführung der Reparaturarbeiten, verkehrliches Betriebsszenario während der Instandsetzung ergibt sich aus den Platzanforderungen der Bauarbeiten

Anlage 3: Bewertung von Resilienzmaßnahmen

Anhand der Methodik zur Bewertung von Resilienzmaßnahmen in Kapitel 5.2 werden in Tabellenform sämtliche identifizierten Maßnahmen auf allgemeiner Ebene bewertet. Dabei können sowohl objektspezifisch erforderliche Änderungen vorgenommen, als auch zusätzliche Maßnahmen hinzugefügt werden.

Bewertung der Resilienzmaßnahme der Kategorie „Prävention P“

#	Maßnahme	Verfügbarkeit		Synergieeffekte			Bestand			Neubau			
		Prävention	Mitigation	Sicherheit	objekt- über- greifend	tunnel- über- greifend	bedro- hungs- über- greifend	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen	Realisierbarkeit	Kosten	empfohlen
P1	Überwachen und Erhalten des technischen Zustands												
P1 – O1	optimierte Wartungsintervalle	●	●	●	N	J	J	●	●	●	●	●	●
P1 – O2	Einführung eines Anlagengesundheitssystems	●	●	●	N	J	J	●	●	●	●	●	●
P1 – O3	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 – O1	Zugriffsregelung für Bestandsunterlagen	●	●	●	N	J	J	●	●	●	●	●	●
P2 – O2	Beschränkung für Gefahrguttransporte	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – O3	Gefahrenanalyse	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – O4	Expositionsanalyse	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – O5	Vereinbaren von Verfügbarkeitswerten mit Dienstleistern, z.B. Strom, Datenanbindung, Wasser	●	●	●	N	J	J	●	●	●	●	●	●
P2 – T1	Pegelstandmonitoring	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T2	Thermoscanner	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T3	Lawinerverbauung	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T4	Steinschlagverbauung	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T5	vorbeugende Lawinensprengung	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T6	Schneezaun	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T7	höheres Lichttraumprofil	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T8	Gasdetektoren	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P2 – T9	Testumgebung für Software-Updates	●	●	●	N	J	J	●	●	●	●	●	●
P2 – T10	Vermeiden großer Längsneigungen	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P3	Verhindern bzw. Abmildern von Schadensereignissen aufgrund disruptiver Ereignisse												
P3 – O1	Verwundbarkeitsanalyse	●	●	●	N	N	J	●	●	●	●	●	●
P3 – O2	physisches Zutrittsmanagement	●	●	●	N	N	J	●	●	●	●	●	●
P3 – O3	Infektionsschutz	●	●	●	N	J	J	●	●	●	●	●	●
P3 – T1	Windschutzpaneele	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●
P3 – T2	Windgeschwindigkeitswarnanlage	●	●	●	N	N	N	●	●	●	●	●	●

Anlage 4: Fact-Sheets zu den Resilienzmaßnahmen

Die Fact-Sheets enthalten Informationen zu den Parametern der Bewertungsmethodik und weitere Informationen für die Auswahl geeigneter Maßnahmen. An dieser Stelle ist exemplarisch das Fact-Sheet für die Ausstattung von RV-Tunneln für den temporären Gegenverkehrsbetrieb dargestellt. Alle Fact-Sheets können auf der Projektwebsite heruntergeladen werden.

Ausstattung von RV-Tunneln für temporären GV				
Kurzbeschreibung				
<p>Muss eine Röhre eines zweiröhriigen Tunneln mit Richtungsverkehrsführung gesperrt werden, stellt der temporäre Betrieb im Gegenverkehr eine effektive Maßnahme zur teilweisen Aufrechterhaltung der Funktionalität dar. Voraussetzung hierfür ist die entsprechende sicherheitstechnische Ausstattung des Tunneln mit folgenden zusätzlichen Anforderungen und Komponenten:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lüftungsdimensionierung für GV • adaptierbare Einfahrtsbeleuchtung an beiden Portalen • Überleitsystem zum Wechsel der Fahrbahnen • (Wechsel-)Verkehrszeichen für beide Fahrtrichtungen • ev. (bauliche) Mitteltrennung 				
Wirkungsart				
<input checked="" type="checkbox"/> technisch <input type="checkbox"/> organisatorisch				
Resilienzphase				
<input type="checkbox"/> prevent <input type="checkbox"/> protect <input type="checkbox"/> respond <input checked="" type="checkbox"/> recover <input type="checkbox"/> prepare				
Wirkungsort				
<input checked="" type="checkbox"/> Tunnelbauwerk inkl. Portale <input type="checkbox"/> Zentralsystem <input checked="" type="checkbox"/> Netzelement <input checked="" type="checkbox"/> regionales Umfeld				
Implementierung				
<input checked="" type="checkbox"/> Bauwerksmanagement <input type="checkbox"/> Ereignismanagement <input checked="" type="checkbox"/> Verkehrsmanagement <input type="checkbox"/> Naturgefahrenmanagement <input type="checkbox"/> Führungsebene				
Anwendungsfall				
<input checked="" type="checkbox"/> Neubau <input checked="" type="checkbox"/> Bestand				
Zeithorizont				
<input type="checkbox"/> kurzfristig <input checked="" type="checkbox"/> mittelfristig <input type="checkbox"/> langfristig <input type="checkbox"/> nicht relevant (bei Neubau)				
Effekte auf Verfügbarkeit				
<p>Der Betrieb im temporären Gegenverkehr ermöglicht die teilweise Aufrechterhaltung des Verkehrsflusses in beide Fahrtrichtungen. Damit kann eine Teilverfügbarkeit rasch wiederhergestellt werden.</p>				
Synergieeffekte				
<ul style="list-style-type: none"> • Sicherheit Der Betrieb im Gegenverkehr bringt im Vergleich zum Richtungsverkehr grundsätzlich zusätzliche Risiken mit sich, weshalb jedenfalls risikomindernden Maßnahmen zu treffen sind • objektübergreifend Nein • bedrohungsübergreifend Ja 				
Realisierbarkeit				
<p>Verantwortlicher: Tunnelmanager Zusätzliche sicherheitstechnische Ausstattungselemente sind in der Regel erforderlich. Dabei ist vor allem auf die ausreichende Dimensionierung der Lüftung zu achten</p>				

PROJEKTKONSORTIUM

Dieses Dokument wurde durch das Konsortium des Verbundprojektes RITUN erarbeitet.

Projektpartner:

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau
Referat Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb, Zivile Sicherheit
Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach

bast

ILF Beratende Ingenieure GmbH
Werner-Eckert-Straße 7
81829 München



Assoziierter Partner:

Bayerische Staatsbauverwaltung
Zentralstelle Ingenieurbauwerke und Georisiken
Schwere-Reiter-Straße 41
80797 München



Das diesem Leitfaden zugrundeliegende Forschungsvorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen des Programms Forschung für die zivile Sicherheit, Bekanntmachung: „Anwender – Innovativ: Forschung für die zivile Sicherheit“ gefördert.

Förderkennzeichen 13N14864 bis 13N14865

Projektlaufzeit 09/2018 – 08/2020

GEFÖRDERT VOM



Haftungsausschluss

Meinungen, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen in dieser Publikation sind diejenigen der Autoren und stimmen nicht in jedem Fall mit denen der Einrichtungen oder der Unternehmen überein. Die Urheberrechte der Inhalte liegen – soweit nicht anders ausgewiesen – bei den jeweiligen Mitgliedern des RITUN -Konsortiums. Die Autoren übernehmen keine Haftung für Schäden oder Kosten, die infolge der Anwendung der vorgestellten Ergebnisse entstehen.

Das Dokument steht auch unter www.bast.de/ritun zur Verfügung. Bestellungen der gedruckten Version sind an folgende Anschrift zu richten:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau
Referat Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb, Zivile Sicherheit
Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach
Deutschland+49 (0) 022 04 6300
ref-b3@bast.de

Impressum

Verantwortlich und Redaktion: RITUN-Konsortium

Bildnachweise:

© René Legrand, BMVI

Umschlagsfoto: Photographer is my life./Moment/Getty Images

Satz und Layout:

Orca Affairs GmbH, Schumannstr. 5, 10117 Berlin

Druck:

Bundesdruckerei, Bonn

Redaktionsschluss:

August 2020

Erscheinungsdatum:

August 2020

Projektbearbeiter (in alphabetischer Reihenfolge)

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