

RETISS – Real Time Security Management System

Erfahrungen und Anwendungsempfehlungen



VDI

Technologiezentrum



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung



Allgemeine Informationen zum Projekt RETISS

Der vorliegende Bericht wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekts RETISS – Real Time Security Management System – angefertigt. Projektträger ist das VDI Technologiezentrum Düsseldorf (VDI TZ).

Projektpartner des Projektes sind:

Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

PTV Group/PTV Transport Consult GmbH (PTV)

SPI Dresden GmbH (SPI)

Assoziierter Partner:

Thüringisches Landesamt für Bau und Verkehr (TLBV)

Kontakt:

Bundesanstalt für Straßenwesen

Brüderstr. 53

51427 Bergisch Gladbach

Tel.: 02204 43 838

E-Mail: retiss@bast.de

www.retiss.de



Real Time Security Management System – Erfahrungen und Anwendungsempfehlungen

Inhaltsverzeichnis

1. Das RETISS-System im Überblick	5
1.1 Einleitung – Sicherheit von Brücken und Tunneln	5
1.2 Das Projekt RETISS	5
1.3 Demonstrator am Tunnel Rennsteig	8
1.4 Ziele und Nutzen.....	10
2. Anwendung des Systems	12
2.1 Sensortechnologie.....	12
2.2 Gefährdungsanalyse und Risikobewertung.....	19
3. Präventive und ausmaßmindernde Schutzmaßnahmen	33
3.1 Präventive Schutzmaßnahmen.....	33
3.2 Maßnahmen zur Ausmaßminderung	36
4. Empfehlungen für die Anpassung von Normen und Richtlinien	41
4.1 Einsatz des RETISS-Systems nach bestehenden Richtlinien (gemäß RABT-Abschnitt 0.2)....	42
4.2 Einsatz des RETISS-Systems nach bestehenden Richtlinien (gemäß RABT-Abschnitt 0.5)....	43
4.3 Einsatz des RETISS-Systems nach bestehenden Richtlinien (bei Nachrüstung bestehender Tunnel)	44
4.4 Einsatz des RETISS-Systems bei Anpassung der bestehenden Richtlinien	44
4.5 Internationale Richtlinien und Gremien.....	46
5. Workshop.....	47
5.1 Einsatz des RETISS-Systems in die Praxis von Verkehrs-bzw. Tunnelleitzentralen	47
5.2 Fragen der Parametrierung des RETISS-Systems (Infrarotdetektion und Online-Risikoanalyse) Ausmaßminderung	48
5.3 Automatisierungsaspekte bei der Maßnahmenschaltung und rechtliche Hürden	49
5.4 Geeignete Infrastrukturbauwerke zum Einsatz des RETISS-Systems	50
5.5 RETISS als kompensatorische Maßnahme sowie die Fortschreibung der RABT hinsichtlich des Einsatzes eines RETISS-Systems	50
5.6 Integration des RETISS-Systems in bestehende Leitstellentechnik.....	50

5.7	Datenschutzrechtliche Belange durch Speicherung personenbezogener Daten beim Einsatz videobasierter Detektionstechnologien.....	51
6.	Fazit	52
7.	Literaturangaben	54

1. Das RETISS-System im Überblick

1.1 Einleitung – Sicherheit von Brücken und Tunneln

Im Straßennetz sind Tunnel und Brücken besonders wichtige Schlüsselemente. Ihre in der Regel geographisch bedingte Flaschenhalsfunktion kann bei einem Ausfall der Infrastrukturen zu weitreichenden Auswirkungen mit Kaskadeneffekten für Straßennutzer und Wirtschaft führen. Schwere Unfälle, beispielsweise mit Lkw, oder auch Handlungen mit kriminellem oder terroristischem Hintergrund sind neue Herausforderungen, mit denen sich vor allem die Betreiber und Eigentümer der Straßeninfrastruktur auseinandersetzen müssen.

Die Sicherheit von Brücken- und Tunnelbauwerken ist daher ein zentrales Thema der zivilen Sicherheit in Deutschland. Gerade hinsichtlich der schwerwiegenden Ereignisse in Deutschlands Nachbarländern in den letzten Jahren (Mont-Blanc-Tunnel-Katastrophe 1999 in Frankreich, LKW-Brand im Gotthardtunnel in der Schweiz 2001) und regelmäßig auftretenden kleineren Bränden auch in deutschen Straßentunneln oder unter Brücken (jüngstes Beispiel hierfür ist der Brand unter der Brücke bei Dormagen 2012) ist es eine wichtige Aufgabe, Infrastrukturbauwerke robuster und gegenüber möglichen Gefährdungen sicherer zu machen.

Sowohl Maßnahmen zur Prävention als auch zur richtigen und schnellen Reaktion im Ereignisfall erfordern zu jedem Zeitpunkt aktuelle Informationen über den Sicherheitszustand der Bauwerke wie beispielsweise die Verkehrsdichte, Fahrzeugarten, defekte Fahrzeuge sowie über die ungefähre Anzahl der Personen, die sich in einem Tunnel oder auf einer Brücke befinden. Besonders relevant ist die Entwicklung von geeigneten Datenfusions- und Risikobewertungswerkzeugen sowie Methoden und Instrumenten zur Ereignisbewältigung. Hinzu kommt, dass der Verkehr auf Deutschlands Autobahnen und in den Nachbarländern stetig wächst und hiermit auch die Anzahl von Tunnel- und Brückenbauwerken zunimmt. Die von Verkehrsleitzentralen (vor allem aber Tunnelleitzentralen) zu überwachenden Infrastrukturbauwerke nehmen dadurch zu und erhöhen u.a. die Anforderungen an Überwachungs- und Betriebspersonal, die immer mehr Informationen verarbeiten und mehr Ereignisse bewältigen müssen.

1.2 Das Projekt RETISS

Das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im nationalen Sicherheitsforschungsprogramm (www.sifo.de) geförderte Projekt RETISS – Real Time Security Management System – startete 2010 (Laufzeit: 2010-2013) mit dem Ziel, ein **Echtzeit-Sicherheitssystem für Straßeninfrastrukturbauwerke** zu entwickeln, das Personal in Tunnel- bzw. Verkehrsleitzentralen dabei unterstützt, Risiken früh zu erkennen und bei Ereignissen schneller und effektiver handeln zu können.

Hierzu wurden zum einen neben der Integration von bereits existierenden Detektionssystemen wie Schleifendetektion zur Verkehrszählung, Brandmeldekabel und Sichttrübungsmessung zur Bestimmung von Feuer- und Rauchentwicklung im Tunnel, **neuartige Detektionssysteme** für den operativen Betrieb getestet (siehe Abbildung 1). Als neue Detektionssysteme wurden in RETISS Infrarot- und optische Kameras zur Erkennung überhitzter Fahrzeuge und Fahrzeugteile im fließenden Verkehr und Laserscanner zur Erfassung von Fahrzeugsilhouetten getestet.

Kommt es beispielsweise zu einer Stausituation in und um einen Tunnel, bei dem das Stauende hinter einer Kurve beginnt, stellen überhitzte Bremsen ein hohes Risiko dar – ein Unfall mit möglicherweise katastrophalen Ausmaßen könnte die Folge sein. Die in RETISS eingesetzte Infrarottechnologie dient als effektive präventive Maßnahme, bei der die Ausleitung eines Lkw mit überhitzten Bremsen beispielsweise vor der Tunneleinfahrt ermöglicht wird. Hierdurch kann das Risiko für einen Unfall oder Brand im Tunnel maßgeblich reduziert werden.

Der Einsatz von Laserscannern zur so genannten Silhouettendetektion von Fahrzeugtypen erlaubt in Verbindung mit optischen Kameras sowie der Infrarottechnologie die Bestimmung von Temperaturzonen für verschiedene Fahrzeuge. Damit können beispielsweise überhitzte Reifen lokalisiert und entsprechende Maximalwerte bestimmt werden. Außerdem kann bei einem Ereignis zu jeder Zeit abgeschätzt werden, welche Fahrzeugtypen sich in einem Tunnel oder auf einer Brücke befinden. Kommt es z.B. zu einem Brand in einem Tunnel, ist die Information darüber, wie viele Lkw sich im Tunnel befinden, eine entscheidende Information hinsichtlich der potentiellen Brandlast.

Das zweite wesentliche Teilziel von RETISS war neben der Erprobung von neuartigen Detektionssystemen für den Betrieb die Entwicklung eines **Datenfusions- und Echtzeit-Risikobewertungssystems** mit Softwarekomponente.

Hierzu wurden die detektierten Daten der bereits vorhandenen und neu getesteten Messsysteme in Echtzeit zusammengeführt, plausibilisiert und ausgewertet.

Die Daten aus folgenden Detektionssystemen wurden hierbei berücksichtigt:

- Brandmeldekabel zur Branddetektion
- Sichttrübungsmesseinrichtung zur Detektion von Rauch
- Alarmmeldungen beim Benutzen von Notausgängen und Notrufkabinen
- Induktionsschleifen zur Ermittlung der Verkehrsbelastung sowie der Geschwindigkeit (Durchschnitt, Differenz)

Darüber hinaus wurden in RETISS zur weiteren Bewertung des Verkehrszustandes und aktuellen Risikopotenzials zusätzlich folgende Daten erfasst:

- Fahrzeugtypen / -arten (Lkw, Pkw, Bus) mittels Silhouettendetektion
- Fahrzeugtemperaturen (z.B. Bremsen, Motor) mittels Infrarotdetektion

- Fahrzeuggeschwindigkeit mittels Silhouettendetektion
- Personenanzahl im Fahrzeug (für die Berechnung der Personenanzahl im Tunnel)

Zusammen mit vorhandenen statistischen Daten und aktuellen Verkehrsdaten wurden geeignete Kenngrößen für die Risikobewertung festgelegt. Mittels Verfahren der quantitativen Risikoanalyse können Eintrittswahrscheinlichkeiten und potenzielle Schadensausmaße möglicher Gefährdungssituationen in Echtzeit berechnet werden. Zu den betrachteten Initialereignissen gehören

- Panne,
- Unfall,
- Brand,
- Explosion,
- Gefahrgutfreisetzung

Wird beispielsweise die Benutzung eines Notausgangs detektiert, steigt der Risikowert für das Initialereignis Panne, Unfall oder Brand. Für die in Echtzeit ermittelten Online-Risikowerte wurde die Methodik sowie der Software-Demonstrator eines optischen Warnsystems (orientiert an den Ampelfarben grün, gelb und rot) entwickelt, das die Risikowerte für die oben genannten Initialereignisse in Echtzeit in der Verkehrsleitzentrale darstellt und zu jeder Zeit Auskunft über den aktuellen Sicherheitszustand eines Bauwerks liefern kann (Abb. 1).

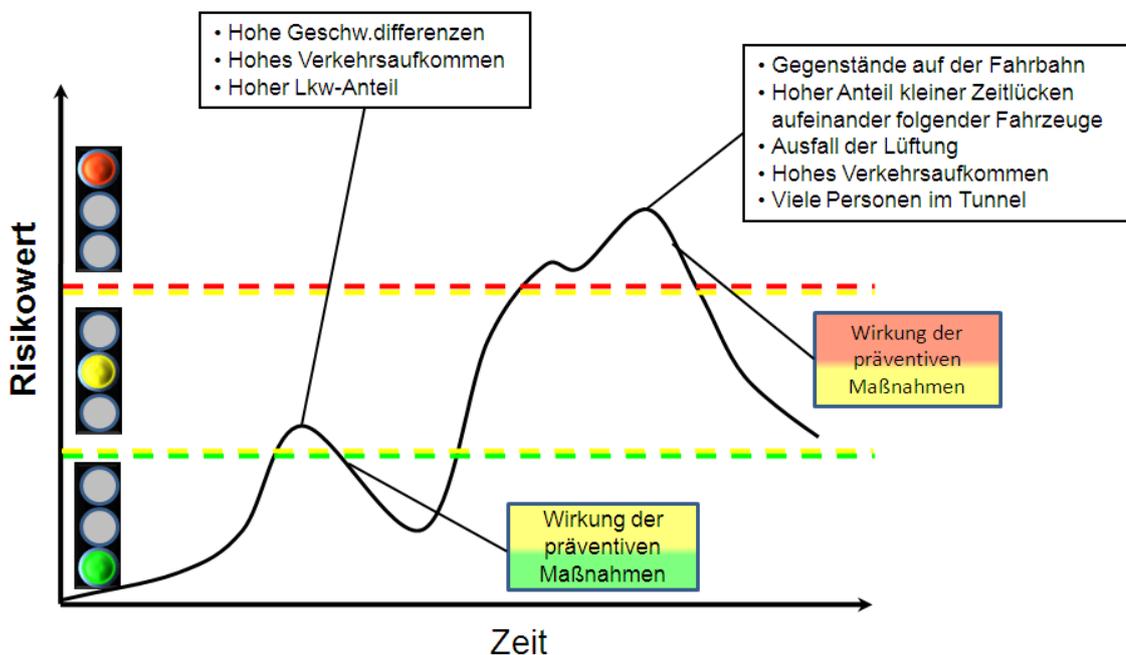


Abbildung 1: Visualisierungskonzept des RETISS-Softwaredemonstrators

Zusätzlich zu dem oben dargestellten Risikobewertungsverfahren wurde in RETISS ein **Expertensystem** konzeptioniert, das Operatoren in den Verkehrs- bzw. Tunnelleitzentralen

bei der Auswahl geeigneter präventiver oder ausmaßmindernder Maßnahmen (z. B. Geschwindigkeitsregulierung, Ausleitung kritischer Fahrzeuge) unterstützt. Betreiber und Operatoren sollen so effektiv in der Prävention von und in der Reaktion auf Risikoereignisse angeleitet werden.

Die folgende Abbildung zeigt die einzelnen Komponenten und Verknüpfungen des RETISS-Systems detailliert auf:

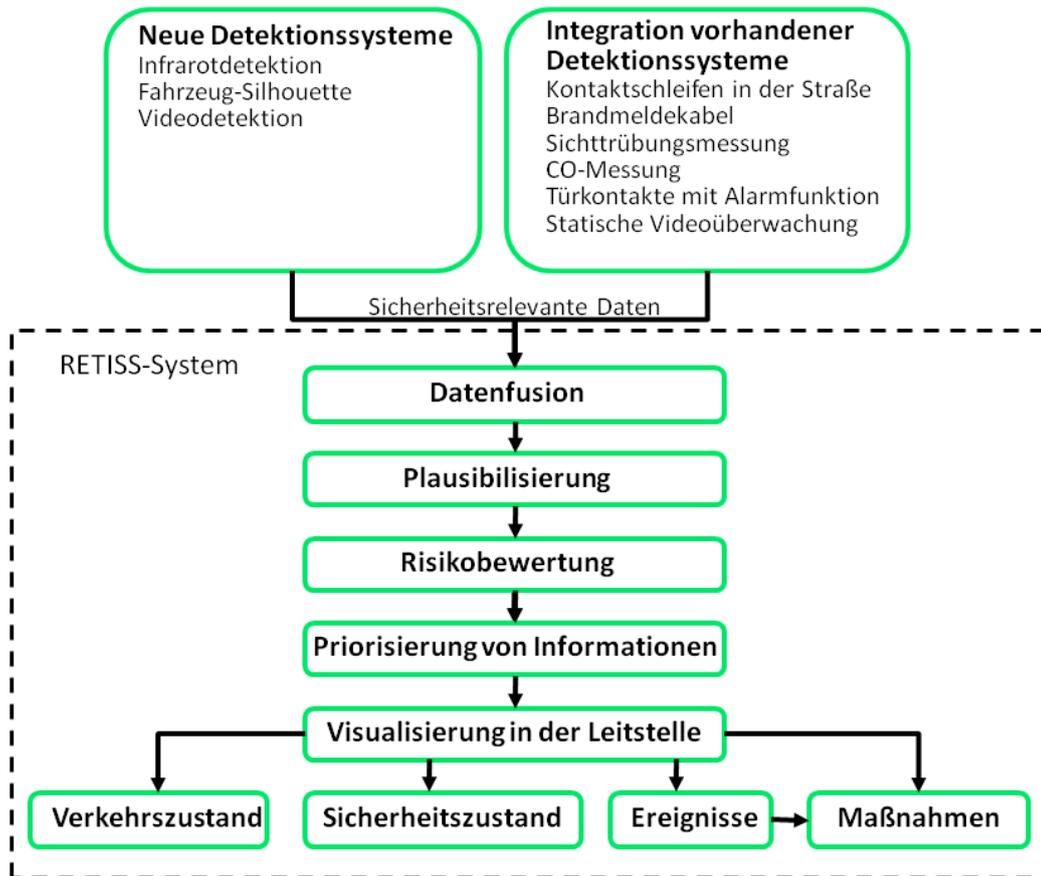


Abbildung 2: Aufbau der RETISS-Komponenten

1.3 Demonstrator am Tunnel Rennsteig

Als Demonstrationsobjekt für das RETISS-System wurde der Tunnel Rennsteig, Deutschlands längster Straßentunnel mit 7.916 Metern, an der BAB A71 in Thüringen zwischen den Anschlussstellen Gräfenroda und Oberhof ausgewählt.

Der folgende Ausschnitt zeigt den ungefähren Standort und die Lage des Demonstrators (Abb. 3):

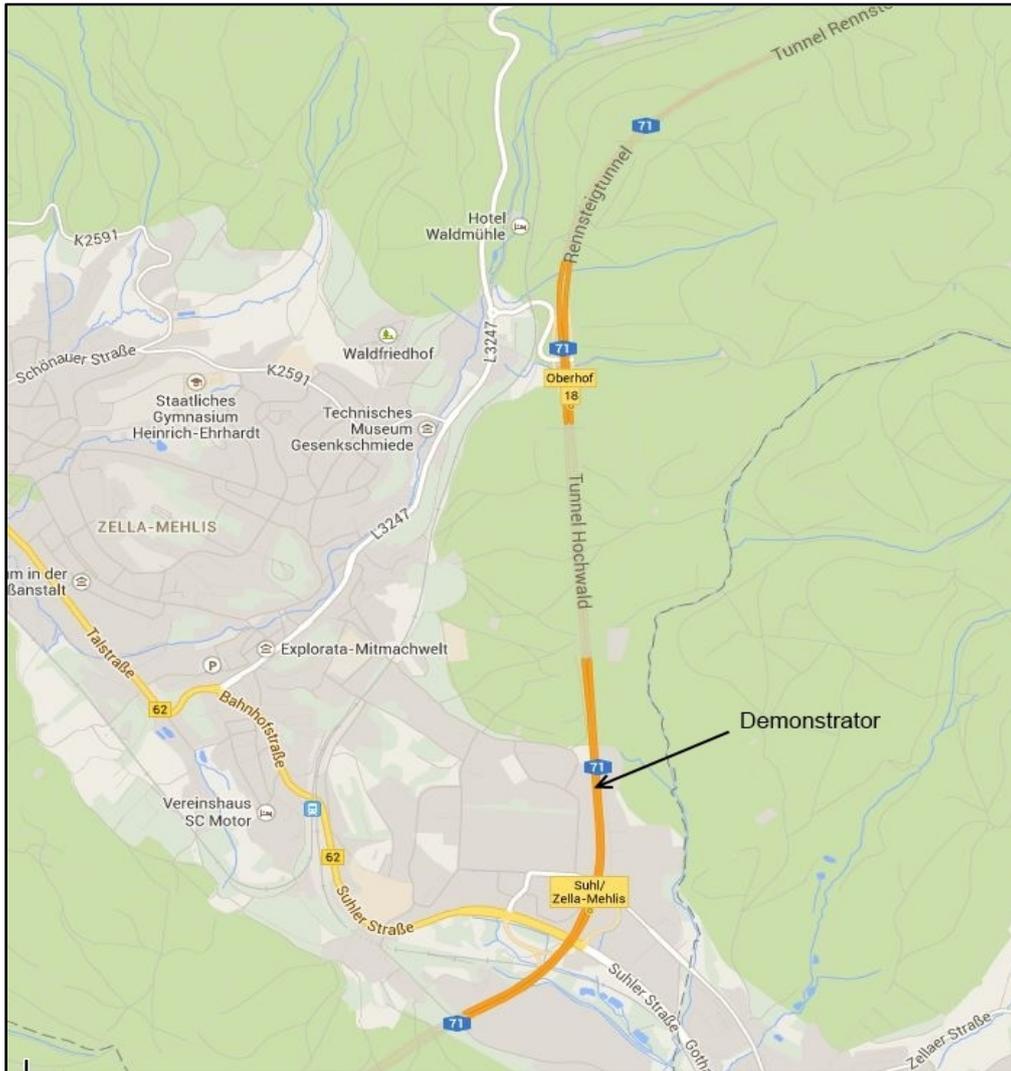


Abbildung 3: Standort des RETISS-Demonstrators (@Google)

An einer vorgelagerten Schilderbrücke wurden Videokameras, Infrarotkameratechnik sowie Laserscanner als neuartige Detektionsvarianten installiert und für den Praxisgebrauch getestet (Abb. 4). In der Tunnelleitzentrale des Thüringischen Landesamts für Bau und Verkehr (TLBV) wurde ein separater Rechner mit Zugang zum RETISS-System zu Testzwecken installiert.

Das TLBV hat als Betreiber des Tunnels, assoziierter Partner und Endnutzer im Projekt mitgewirkt.

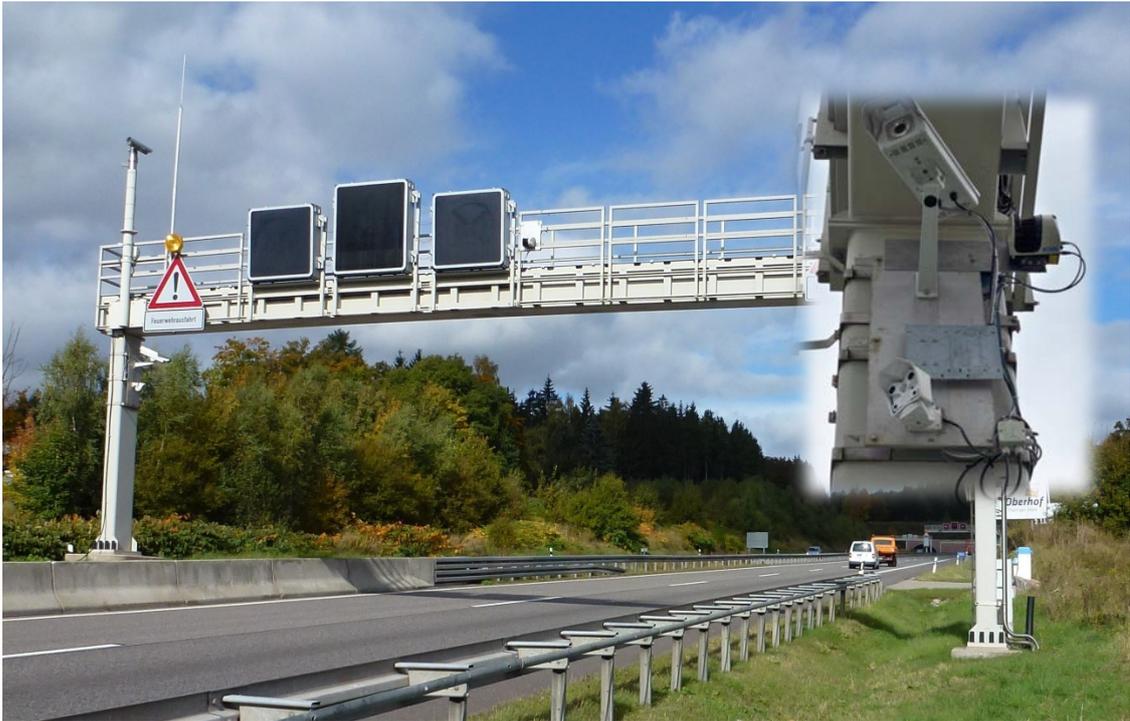


Abbildung 4: *Infrarotkameras und Laserscanner am RETISS-Demonstrator (Tunnel Rennsteig)*

Die Arbeiten wurden während der gesamten Projektdauer durch datenschutzrechtliche Untersuchungen der Hochschule für Wirtschaft und Recht Berlin (Prof. Dr. Clemens Arzt) hinsichtlich der Datenerfassung und -verarbeitung begleitet, um die Auflagen des Datenschutzes zu gewährleisten.

1.4 Ziele und Nutzen

Die Verbesserung der zivilen Sicherheit ist übergeordnetes Ziel des RETISS-Projekts. Die wesentlichen Leistungen sind nachfolgend stichpunktartig skizziert:

- Erprobung und Demonstration neuer Technologien zur Identifizierung von Risiken und Gefahren und deren Prävention
- Verkürzung der Reaktionszeit im Notfall durch die Identifizierung von Risiken in Echtzeit
- Visualisierung des aktuellen Sicherheitszustandes verschiedener Bauwerke in der Verkehrsleitzentrale
- Konzeption eines Expertensystems zur Auswahl von präventiven und ausmaßmindernden Maßnahmen
- Erhöhung der Verfügbarkeit von Infrastrukturbauwerken durch Reduzierung möglicher Schäden bzw. deren Auswirkungen durch Präventivmaßnahmen und Strategien im Ereignisfall

- Möglichkeit der Nutzung des RETISS-Systems als Kompensationsmaßnahme zur Erfüllung der sicherheitstechnischen Bestimmungen durch die RABT (bspw. als Kompensationsmaßnahme für kostenintensive bautechnische Nachrüstungen)
- Entlastung von Operatoren in Leitzentralen durch automatische Anzeige von Risiken in Echtzeit und Maßnahmeempfehlungen
- Erhöhung des Sicherheitslevels, der Leistungsfähigkeit, der Zuverlässigkeit und der Robustheit der deutschen Straßeninfrastruktur sowie des gesamten Transportsystems.

2. Anwendung des Systems – Erfahrungen und Empfehlungen

Nachfolgend wird das RETISS-System in seinen Einzelkomponenten dargestellt. Zunächst wird die für das RETISS-Demonstrationsprojekt verwendete Sensortechnologie beschrieben. Es folgt eine detaillierte Beschreibung der methodischen Grundlagen der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung sowie der praktischen Umsetzung in Form eines Softwaredemonstrators.

2.1 Sensortechnologie

Im Rahmen des Projektes RETISS wurde ein System entwickelt, welches frühzeitig durch heiße Komponenten gefährdete Fahrzeuge entdeckt und somit aktiv die Entstehung von Bränden verhindern kann. Ziel dabei war es, die Fahrzeuge ohne Eingriff in den Verkehr zu untersuchen. Die Wahl fiel dabei auf ein System, dessen Kernpunkt aus einer Infrarotlinienkamera besteht, welche in einiger Entfernung vor einem Tunnelportal aufgestellt wird und vorbeifahrende Fahrzeuge scannt (Abb. 5).

Diese Anordnung wurde bereits zuvor in einem Feldversuch erfolgreich getestet. Das so entstandene Bild wird anschließend mittels bildanalytischer Verfahren aufgearbeitet und untersucht. Wird dabei eine Überschreitung von im Vorhinein definierten „kritischen“ Temperaturwerten festgestellt, löst das Programm einen Alarm aus.

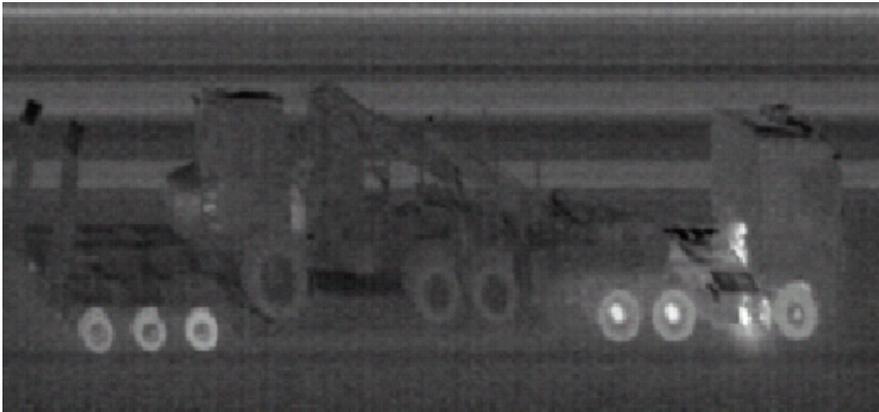


Abbildung 5: IR-Linienbild eines LKW

Zu den technischen Gegebenheiten von Fahrzeugen gehört es, dass unterschiedliche Fahrzeugteile verschieden hohe Betriebstemperaturen aufweisen. Während Abgasanlage und Bremscheiben ohne Weiteres im Betrieb eine Temperatur von mehreren Hundert Grad Celsius erreichen können, ist eine so hohe Temperatur zum Beispiel für Ladeflächen und Reifen von Lkw ausgeschlossen. Es gelten also für verschiedene Fahrzeugregionen unterschiedliche Grenztemperaturen. Um die entsprechenden Grenztemperaturen zu überwachen, muss die Lage der einzelnen Bereiche des Fahrzeugs ermittelt werden (Abb. 6). Dafür wiederum muss der Typ des untersuchten Fahrzeugs bekannt sein. Für diesen Zweck befindet sich neben und über dem rechten Fahrstreifen jeweils ein Laserscanner, welcher die vorbeifahrenden Fahrzeuge scannt und deren Typ ermittelt. Mit dieser Information können nun verschiedene Bereiche des Fahrzeugs mit jeweils unterschiedlicher Grenztemperatur untersucht werden.

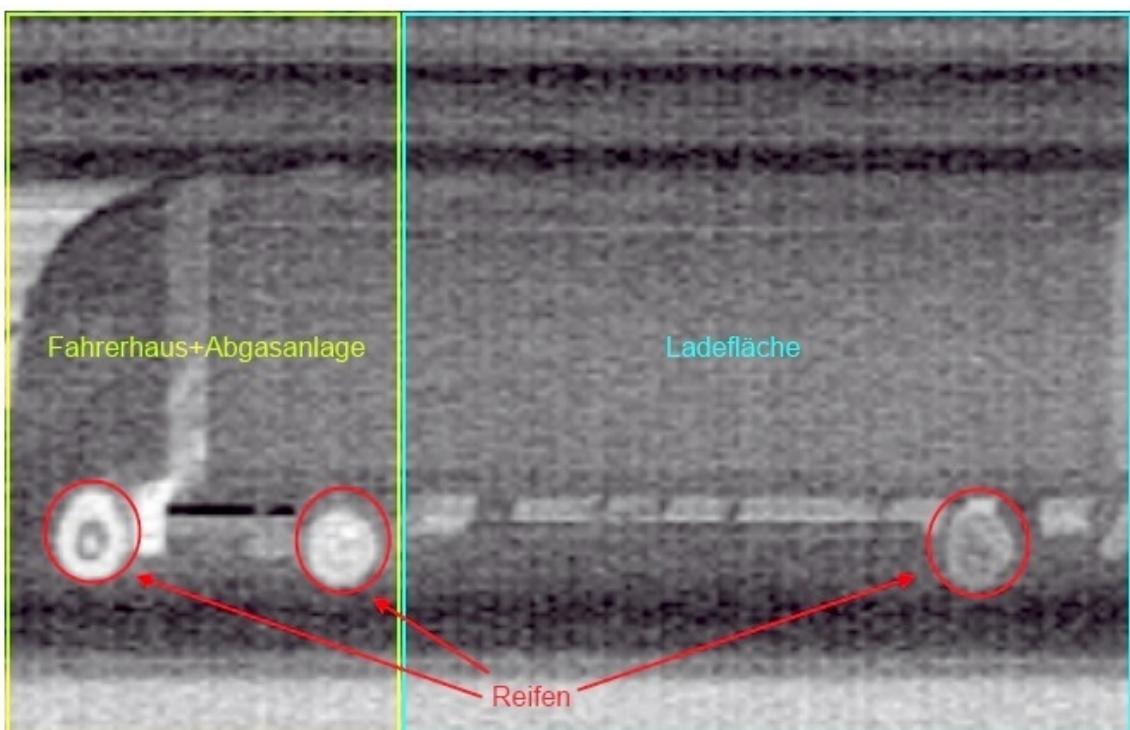


Abbildung 6: *Temperatursensoren für LKW*

Um im Falle eines Alarms (z.B. Detektion eines Brandes) dem Bedienpersonal ein visuelles Bild zur Kontrolle und Entscheidungsfindung zur Verfügung stellen zu können, befinden sich links und rechts der Fahrbahn jeweils eine Videokamera. Weiterhin kann durch das Bildmaterial die Suche und Identifizierung eines überhitzten Fahrzeuges für die Einsatzkräfte vereinfacht werden. Für den Betrieb des Detektionssystems sind diese jedoch nicht zwingend erforderlich.

Sämtliche Software wird auf einem separaten Rechner ausgeführt, welcher sich in der Zentralen Betriebsleitstelle befindet. Neben der Auswertesoftware der Infrarotkameras existiert außerdem ein Datenbanksystem, welches relevante Daten für jedes erfasste

Fahrzeug (Zeit der Aufnahme in die Datenbank, IR-Bilder, Scanner-Daten, Länge, Höhe, Breite, Anzahl Achsen, Fahrzeugtyp, Geschwindigkeit, etc.), sowie eine Musterdatenbank mit den für verschiedene Fahrzeugtypen hinterlegten Auswertezonen und Grenztemperaturen bereitstellt. Weiterhin läuft auf diesem PC die Software zur Steuerung der Kameras und der Laserscanner. Das genaue Zusammenspiel der einzelnen Komponenten ist in Abbildung 7 dargestellt. Hier ist schematisch der Verlauf und die Art der Kommunikation zwischen den einzelnen Systemkomponenten abgebildet. Das Schema ist in drei Bereiche unterteilt: einen Bereich für Hardware, einen Bereich für Software und einen Bereich für die Datenbanken auf dem Server.

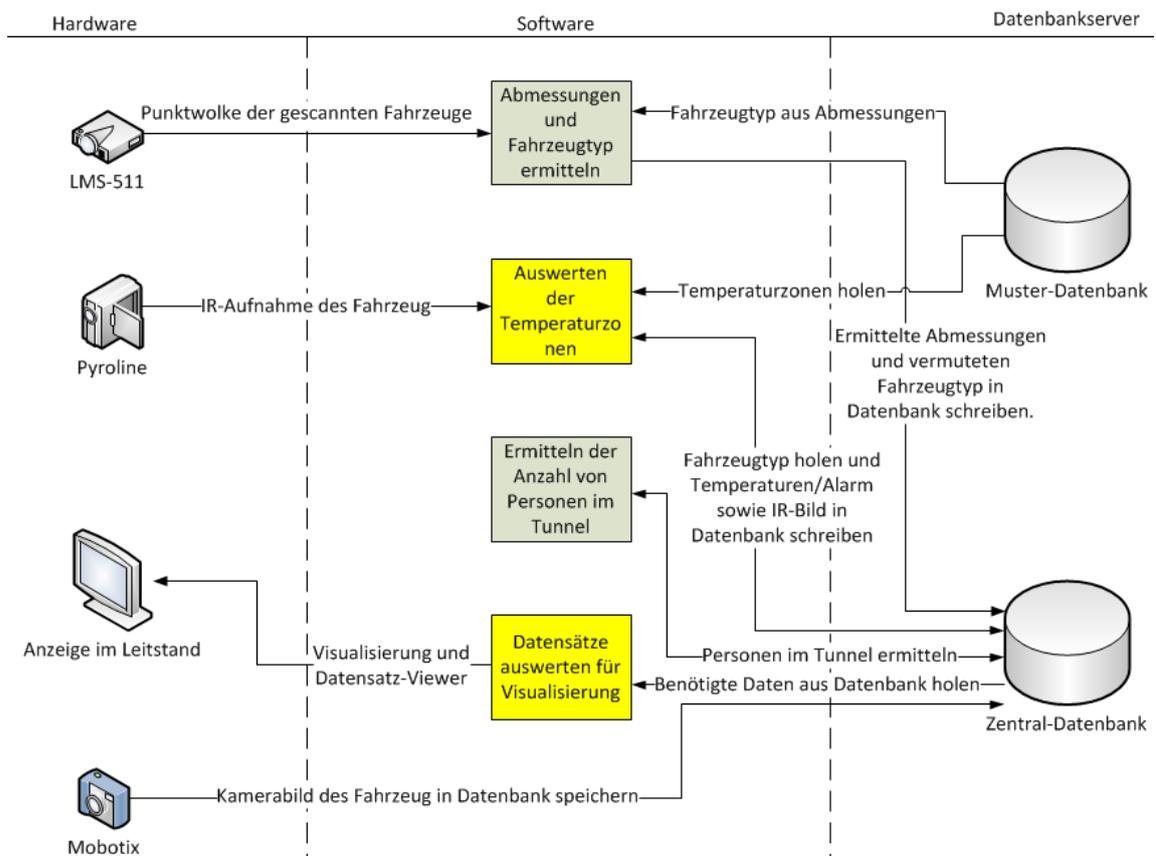


Abbildung 7: Gesamtübersicht der einzelnen Komponenten des RETISS-Demonstrationsprojekts (Sensortechnologie)

2.1.1 Laserscanner

Bei den eingesetzten Scannern handelt es sich um die Geräte LMS511 der Firma Sick. Die Scanner können mit bis zu 100 Hz ihre Umgebung abtasten und funktionieren bis zu einer Entfernung von ca. 80 Metern (Abb. 8). Die maximale Winkelauflösung beträgt bis zu 0,167°. Außerdem verfügen die Geräte über eine Ethernetschnittstelle und sind durch eine integrierte Heizung für den Einsatz im Freien geeignet. Eines der beiden Geräte tastet die vorbeifahrenden LKW mit einem Laserstrahl ab und erstellt dadurch ein dreidimensionales Abbild der Fahrzeuge (siehe Abbildung 9), aus welchem später die geometrischen Merkmale

des Fahrzeugs bestimmt werden sollen. Der zweite Scanner ermittelt die Geschwindigkeit und die Länge der Fahrzeuge. Die Messanordnung ist schematisch in Abbildung 8 dargestellt.

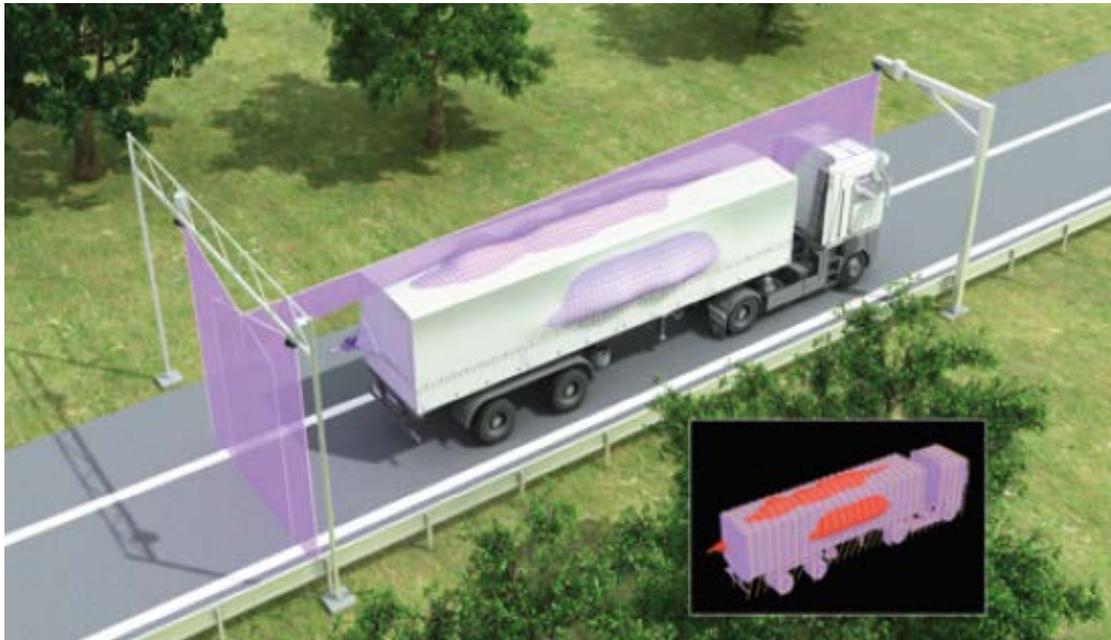
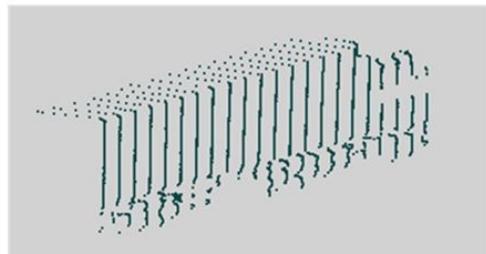
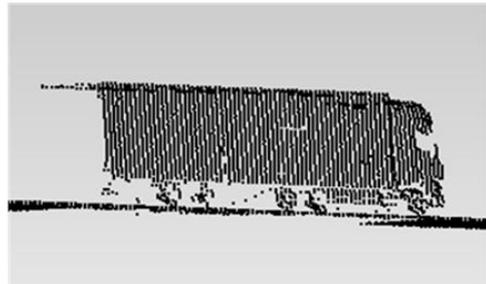


Abbildung 8: Messanordnung Laserscanner, Quelle: SICK AG



Oben: 100 Hz Scanfrequenz
Unten: 25 Hz Scanfrequenz

Abbildung 9: Darstellung der durch Laserscanner abgetasteten Punkte bei unterschiedlicher Scanfrequenz

2.1.2 IR-Kameras

Die eingesetzten IR-Kameras vom Typ Pyroline der Firma DIAS Infrared GmbH Dresden erfassen die Oberflächentemperatur der vorbeifahrenden Fahrzeuge und ermöglichen es somit, überhitzte Bauteile oder Brände zu detektieren. Abbildung 10 zeigt die Darstellung der Infrarot-Aufnahme. Gut zu erkennen ist eine Grenzwertüberschreitung der Oberflächentemperatur, welche mit einem roten Kreis markiert ist. Die Speicherung der Aufnahmen erfolgt in einem internen Ring-Speicher in den IR-Kameras.

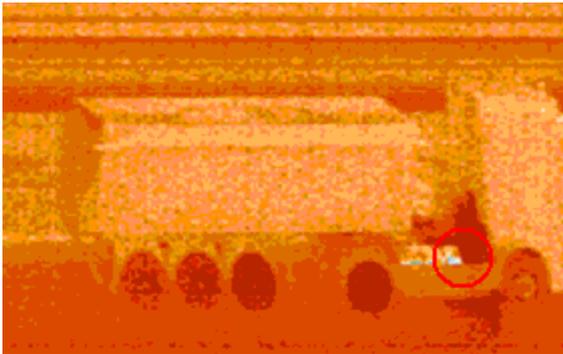


Abbildung 10: Fahrzeug mit detektierter Grenzwertüberschreitung der Temperatur

2.1.3 Anzeige in der Leitzentrale

Die Anzeige in der Leitzentrale dient der Visualisierung möglicher Alarmmeldungen und dem Betrachten der vorhandenen Datensätze. Darüber hinaus stellt sie dem Bedienpersonal die Möglichkeit zur Verfügung, Parametrisierungen an den Kameras und den Scannern vorzunehmen (Abb. 11).

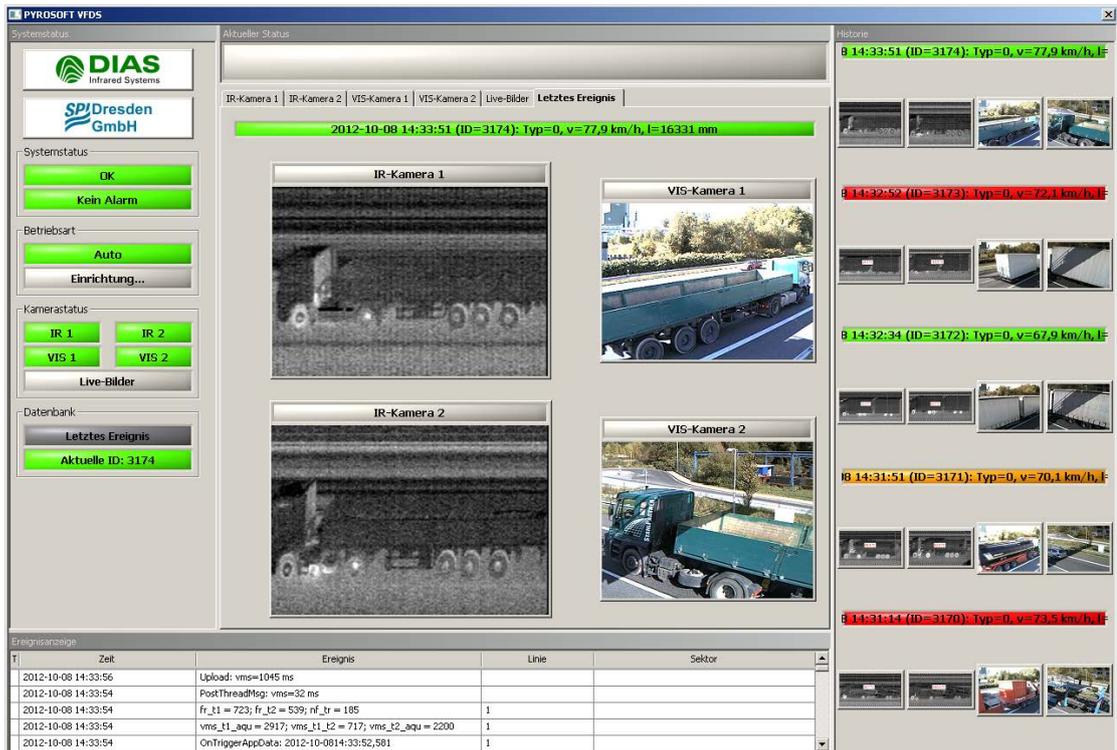


Abbildung 11: Visualisierungssoftware

2.1.4 Visuelle Kameras (Mobotix)

Die Funktion der visuellen Kameras besteht darin, im Falle eines Alarms (z.B. Detektion einer überhitzten Stelle) dem Bedienpersonal ein visuelles Bild zur Kontrolle zur Verfügung zu stellen, damit diese anhand der Daten entscheiden können, ob es sich tatsächlich um einen Brand handelt und weitere Maßnahmen eingeleitet werden müssen (beispielsweise Tunnelsperrung etc.). Weiterhin kann durch das Bildmaterial die Suche und Identifizierung eines überhitzten Fahrzeuges für die Einsatzdienste vereinfacht werden.



Abbildung 12: Videoaufnahme eines LKW

2.1.5 *Abmessungen und Fahrzeugtyp ermitteln*

Die von den Laserscannern gelieferten Punktwolken der Lkw werden von der Software ausgewertet und dadurch die charakteristischen Merkmale des jeweiligen Fahrzeugs ermittelt (Länge, Breite, Höhe). Anschließend wird in der *Musterdatenbank* nach einem Fahrzeugtyp gesucht, welcher auf diese Merkmale passen könnte. Dieser Fahrzeugtyp wird zusammen mit den ermittelten Merkmalen, einem Zeitstempel, welcher den Zeitpunkt der Erfassung des Fahrzeugs darstellt und der Punktwolke des Fahrzeugs in die *Zentral-Datenbank* geschrieben.

2.1.6 *Auswerten der Temperaturzonen*

Das Programm wertet zyklisch die Einträge der *Zentral-Datenbank* aus. Stellt die Software fest, dass ein neuer Eintrag für ein Fahrzeug angelegt wurde, so wird mit Hilfe des Zeitstempels des Fahrzeuges die entsprechende Aufnahme aus dem internen Ring-Speicher der IR-Kameras geladen. Gleichzeitig werden für den zugehörigen Fahrzeugtyp die entsprechenden Temperaturzonen und Grenzwerte aus der *Musterdatenbank* geladen und auf das IR-Bild angewendet. Wird eine Grenzwertüberschreitung festgestellt, so wird ein Alarm im Leitstand generiert und entsprechend eine Meldung in der *Zentral-Datenbank*

erzeugt. Unabhängig davon, ob ein Alarm ausgelöst wurde oder nicht, wird das zugehörige IR-Bild in der *Zentral-Datenbank* gespeichert.

2.1.7 *Ermitteln der Anzahl von Personen im Tunnel*

Die Anzahl der Personen im Tunnel wird über den ermittelten Fahrzeugtyp und dem statistischen Mittelwert an Fahrzeuginsassen pro Fahrzeugtyp bestimmt. Die Dauer einer Fahrt durch den Rennsteigtunnel bei 80 km/h beträgt ca. 6 Minuten, so ergibt sich die Anzahl von Personen im Tunnel in Annäherung als Summe aller statistischen Mittelwerte an Fahrzeuginsassen für die Fahrzeuge, welches in den letzten 6 Minuten erfasst wurden. Ein typischer Pkw hat beispielsweise laut Statistischem Bundesamt im Mittel 1,2 Insassen.

2.1.8 *Datenbankserver*

Als Datenbankmanagementsystem (DBMS) für die Datenhaltung aller Daten wird auf dem Server in der ZBL Zella-Mehlis MYSQL in der Version 5.5 verwendet. Das DBMS verwaltet 2 Datenbanken:

- die *Muster-Datenbank*, welche die geometrischen Daten bestimmter Fahrzeugtypen, deren Temperaturzonen und Temperatur-Grenzwerte, sowie die statistische mittlere Anzahl an Fahrzeuginsassen in diesem Fahrzeugtyp beinhaltet und für die Zukunft eventuell eine schematische Darstellung des Fahrzeugtyps (Zeichnung oder Skizze)
- die *Zentral-Datenbank*, welche für jedes Fahrzeug einen Datensatz beinhaltet, der Fahrzeugtyp, Abmessungen, IR-Bilder, Punktwolke der Laserscanner, Alarmmeldungen, Zeitstempel, Geschwindigkeit, Fahrspur und visuelle Bilder enthält.

2.2 **Gefährdungsanalyse und Risikobewertung**

2.2.1 *Methodische Grundlagen*

Ein weiteres zentrales Modul des Forschungsprojektes RETISS war die Online-Ermittlung der Risikosituation von exponierten Straßeninfrastrukturelementen (insbesondere Tunnel und Brücken).

Als Maß für die Gefährdungssituation in einem Tunnel oder auf einer Brücke dient das Risiko, das sich aus der Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von bestimmten Ereignissen mit den jeweiligen Schadensausmaßen ergibt. Das Risiko ist wie folgt definiert und ermöglicht auch Aussagen über die Zukunft:

$$\text{Risiko} = \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} \times \text{Schadensausmaß}$$

Grundlage für die Gefährdungsanalyse und Risikobewertung in RETISS bildet die Methodik der Quantitativen Risikoanalyse (QRA), deren Ablauf aus nachfolgender Abbildung ersichtlich ist (Abb. 13).

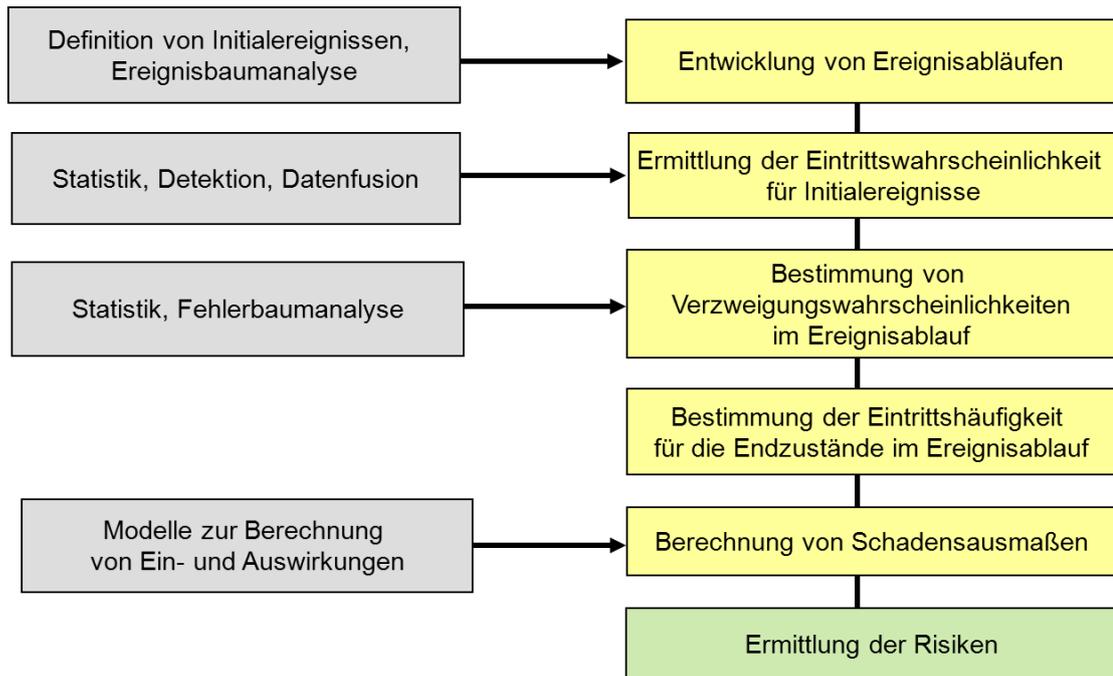


Abbildung 13: Ablauf einer Quantitativen Risikoanalyse (QRA)

2.2.2 Parameter und Verfahren zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Initialereignissen

Als erster Schritt zur Bestimmung der Gefährdungssituation sind sogenannte Initialereignisse zu definieren, über deren Eintrittswahrscheinlichkeit eines der beiden Elemente der Risikobetrachtung ausgedrückt wird (vgl. Definition des Risikos unter Abschnitt 2.2.1). In RETISS werden folgende Initialereignisse berücksichtigt:

- Panne bzw. technischer Defekt (ohne Brandfolge)
- Unfall (ohne Brandfolge)
- Brand Pkw bzw. Lkw (infolge technischen Defekts, Unfall, Gefahrgutfreisetzung)
- Explosion
- Gefahrgutfreisetzung

Die Auswahl der Initialereignisse beschränkt sich dabei hauptsächlich auf für Tunnel relevante Szenarien. Hier spielen zum Beispiel extreme Witterungsereignisse o. ä. eine untergeordnete Rolle.

Anhand verschiedener Parameter wird auf mögliche Initialereignisse geschlossen. So kann z. B. ein detektierter Störfall auf einen Unfall oder das Anschlagen eines Brandmeldekabels auf einen Brand hinweisen.

Jedem Parameter wird situationsabhängig eine Wahrscheinlichkeit in Bezug auf das übergeordnete Initialereignis zugewiesen. Dabei ist der gesamte Wertebereich eines Wahrscheinlichkeitswertes zwischen 0 und 1 möglich. Die Wahrscheinlichkeit eines

Parameters fließt – ggf. in Kombination mit anderen Parametern und deren Wahrscheinlichkeiten – in die Eintrittswahrscheinlichkeit des jeweiligen Initialereignisses ein.

Die Parameter werden den beiden Gruppen *Basiswahrscheinlichkeit* und *Detektion* zugeordnet. Innerhalb der *Basiswahrscheinlichkeit* wird mittels Kennzahlen aus der Statistik (Unfall-, Brandrate, etc.) und der aktuellen Verkehrsstärke bzw. Verkehrsdichte im betrachteten Abschnitt die momentane Wahrscheinlichkeit des Initialereignisses berechnet (z. B. Unfall-, Brandwahrscheinlichkeit, etc.). Der so ermittelte Wert wird als die momentane *Basiswahrscheinlichkeit* bezeichnet. Die Basiswahrscheinlichkeit wird dabei kontinuierlich auf Grundlage der aktuellen Verkehrslage ermittelt und ist, wenn sich Fahrzeuge im Tunnel bzw. im betrachteten Bereich befinden, immer größer null.

In die Gruppe *Detektion* werden alle weiteren Parameter eingeordnet. In der Regel ist für diese Parameter charakteristisch, dass, solange keine entsprechenden Ereignisse auftreten, die Wahrscheinlichkeit in Bezug auf das jeweilige Initialereignis null ist. Erst im Falle eines detektierten Ereignisses (z. B. Stau / Störfall, Feuerlöscherentnahme oder hohe Sichttrübungswerte) wird die Wahrscheinlichkeit größer null.

Die Wahrscheinlichkeiten der verschiedenen Parameter kommen auf unterschiedliche Arten zu Stande. Die Parameter der Basiswahrscheinlichkeiten sind Ergebnisse von Berechnungen, in die statistische Daten und aktuelle Verkehrswerte einfließen. Dieses ist vereinzelt auch bei anderen Parametern der Fall.

Bei den übrigen Parametern kommen vorgegebene statische oder klassifizierte Werte zum Einsatz. D. h., dass bei Eintritt eines bestimmten Ereignisses Parametern entweder feste Wahrscheinlichkeiten zugewiesen werden, oder dass je nach Schwere des Ereignisses abgestufte Wahrscheinlichkeiten angesetzt werden.

Die Parameter zur Bestimmung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Initialereignissen werden in 2 Kategorien eingeteilt, sog. Primärparameter und Sekundärparameter.

Die als *Primärparameter* deklarierten Parameter werden zur Identifikation von Initialereignissen genutzt und stellen eine Aussage über die Wahrscheinlichkeit eines bestimmten Initialereignisses dar. Ein Primärparameter ist eigenständig und besitzt ohne Zuhilfenahme weiterer Detektionsarten Aussagefähigkeit in Bezug auf das übergeordnete Initialereignis. Ein Beispiel für einen Primärparameter ist das Brandmeldekabel, bei dem eine Brandmeldung direkt auf einen Brand schließen lässt.

Für die Primärparameter werden Wahrscheinlichkeiten definiert, die sich direkt auf das entsprechende Initialereignis beziehen. In der Datenfusion (s.u.) können weitere Parameter hinzugezogen werden (sowohl Primär- als auch Sekundärparameter), um die Aussage zu bestärken.

Sekundärparameter werden eingesetzt, um die Aussagen auf Basis der vorgenannten *Primärparameter* im Rahmen der Datenfusion zu festigen oder im Zusammenspiel mit weiteren Sekundärparametern eine Aussage zu erzeugen. Eine Aussage nur auf Basis eines

Sekundärparameters in Bezug auf das jeweilige Initialereignis ist nicht möglich, da hier keine ausreichenden kausalen Abhängigkeiten vorhanden sind bzw. gesehen werden. Die Parameter *CO-Messung* und *Sichttrübung* sind z. B. Sekundärparameter. Jeder Parameter für sich lässt keinen vertretbaren Rückschluss auf einen Brand zu. Werden jedoch von beiden Systemen Alarme in räumlicher Nähe ausgelöst, so kann man mit einer angemessenen Wahrscheinlichkeit von einem Brand ausgehen.

Die für die Sekundärparameter festgelegten Wahrscheinlichkeiten in Bezug auf ein Initialereignis stellen keine direkte Aussage über die Eintrittswahrscheinlichkeit dar. Sie stützen, verstärken oder erhöhen die Wahrscheinlichkeit eines mit ihnen fusionierten Primärparameters.

2.2.3 Datenfusion

Zur Bestimmung der Parameter, aus denen sich die Eintrittswahrscheinlichkeiten von Initialereignissen ergeben, werden Messdaten und Meldungen aus unterschiedlichen Detektionssystemen herangezogen. Um eine möglichst zuverlässige Datenbasis zu erhalten, werden die Messdaten und Meldungen bestimmter Datenquellen zunächst einer Plausibilitätsprüfung unterzogen, anschließend werden diejenigen Daten und Meldungen, die sinnvoll miteinander kombiniert werden können, um auf bestimmte Initialereignisse schließen zu können, fusioniert.

Die Fusion der im Rahmen von RETISS verwendeten Daten, findet auf mehreren Ebenen statt (s. Abbildung 14). Zur Bewertung eines Parameters werden zum Teil Daten von mehreren Erfassungssystemen (Detektionen) benötigt. So wird z. B. bei einem Alarm der Sichttrübung im Tunnel auch überprüft, ob ein liegen gebliebenes Fahrzeug detektiert wurde, um dann auf die Wahrscheinlichkeit eines Brandes zu schließen. Diese verschiedenen Daten werden fusioniert, um damit eine Aussage für den Parameter *Sichttrübung* zu tätigen, also eine Wahrscheinlichkeit bestimmen zu können. Diese Datenfusionen finden auf der Ebene 1 statt. Das Ergebnis ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Initialereignisses aus einem Parameter (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15).

Die Ebene 2 der Datenfusion stellt dann die Zusammenfassung der verschiedenen Parameter eines Initialereignisses dar. Hier wird mittels entsprechender Verknüpfungen die gesamte Eintrittswahrscheinlichkeit eines Initialereignisses bestimmt (siehe Abbildung 14 und Abbildung 16).

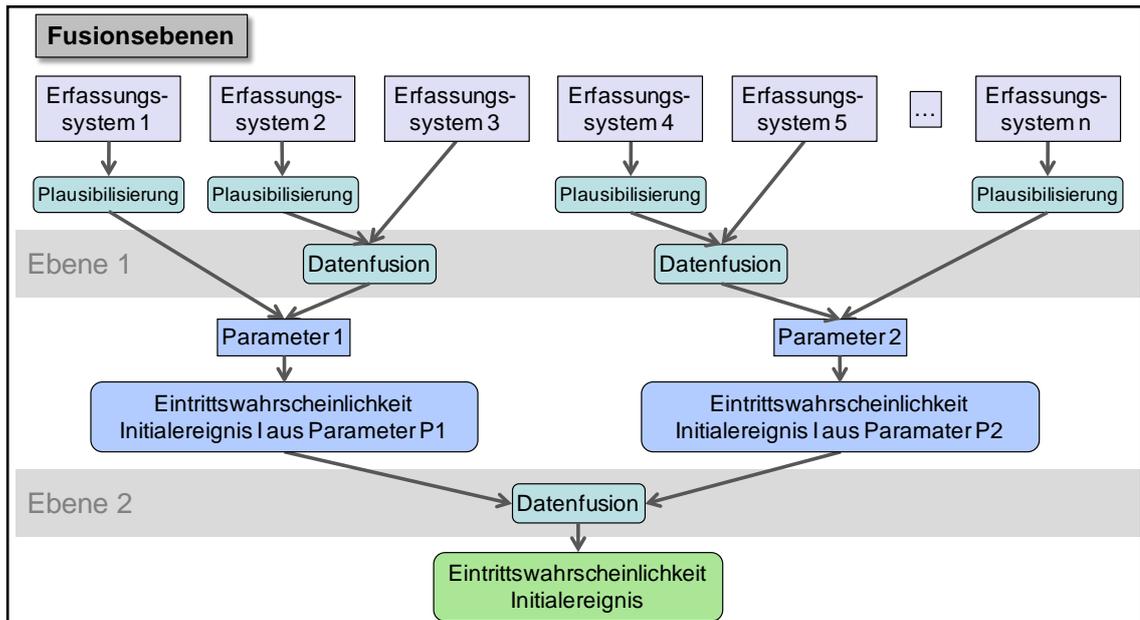


Abbildung 14: Ebenen der Datenfusion

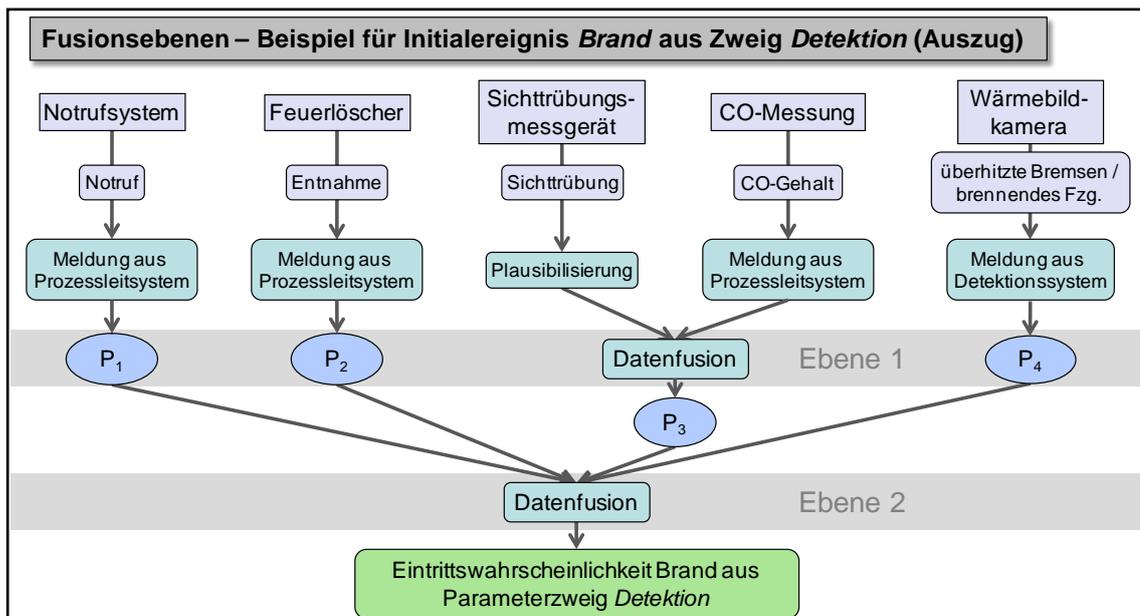


Abbildung 15: Schematisches Beispiel zur Datenfusion für den Parameterzweig Detektion des Initialereignisses Brand

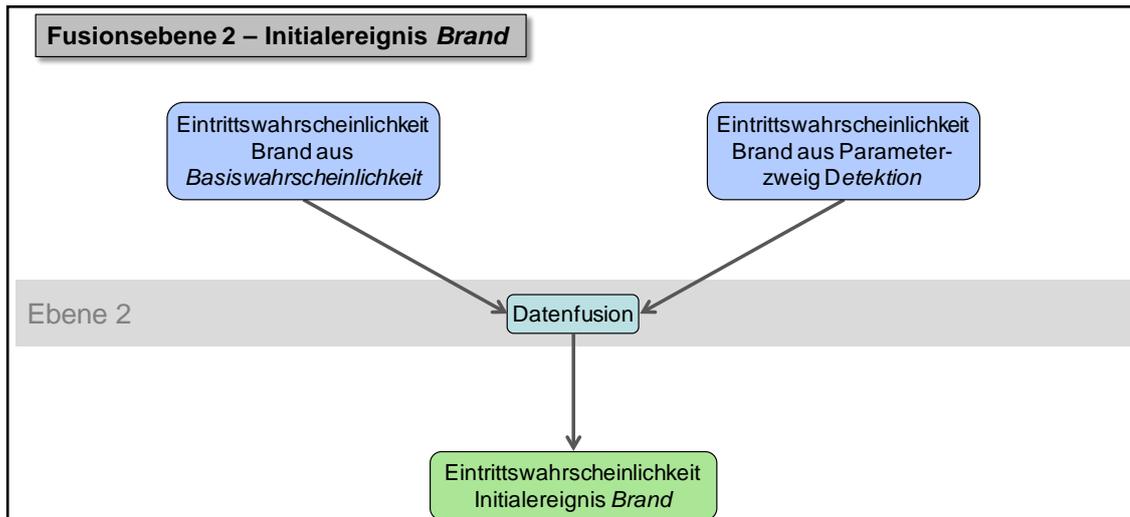


Abbildung 16: Schematisches Beispiel zur Datenfusion – Parameterzweige des Initialereignisses Brand

2.2.4 Fehler- und Ereignisbäume als Grundlage für die Schadensausmaßermittlung

Mit Hilfe von Fehler- und Ereignisbäumen können einerseits Informationen über die Ausfallwahrscheinlichkeiten von Systemkomponenten und deren Ursachen gewonnen werden; andererseits lassen sich die Eintrittshäufigkeiten von sog. Endzuständen im Ereignisablauf bestimmen. Beide Informationen sind wichtig für die Ermittlung der potenziellen Schadensausmaße, die sich bei Eintreten der betrachteten Ereignisse ergeben würden.

Das prinzipielle Vorgehen der Fehler- und Ereignisbaumanalyse für die Risikobewertung ist in nachfolgender Abbildung 17 dargestellt.

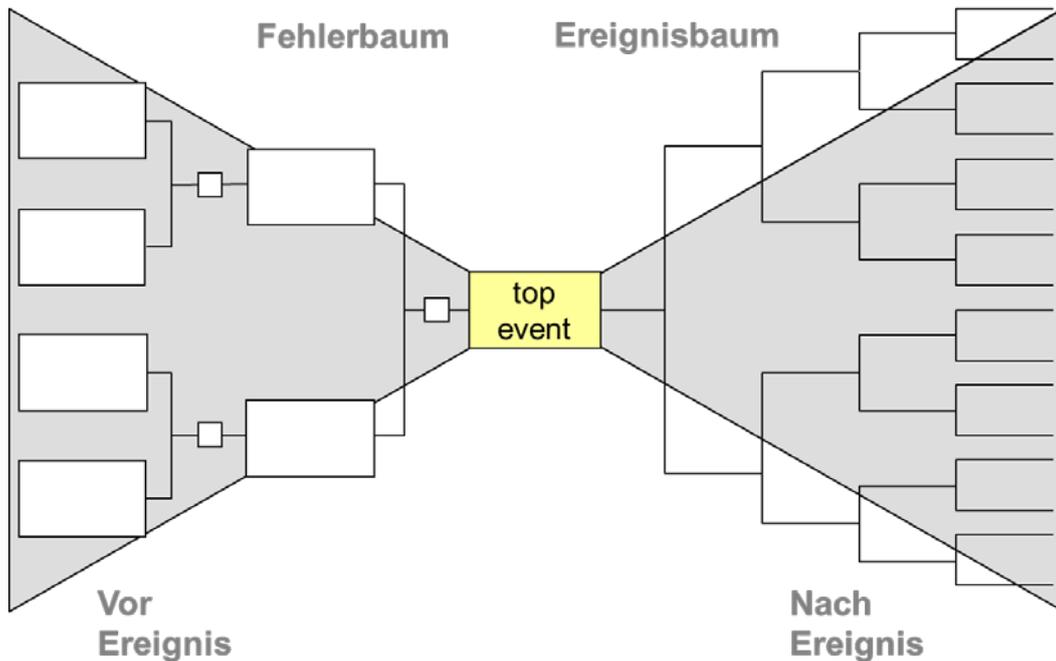


Abbildung 17: Prinzip der Fehler- und Ereignisbaumanalyse für die Risikobewertung

Die Fehlerbaumanalyse ist eine deduktive Top-down-Methode, mit der auf der Grundlage von Hard- und Softwarefehlern sowie menschlichen Fehlhandlungen (HEP- Human Error Probability) die Wahrscheinlichkeit eines Systemausfalls bestimmt werden kann. Es wird jeweils von einem unerwünschten Ereignis (dem Top Event) ausgegangen, das in seiner jeweiligen Systemebene betrachtet wird.

Ein Fehlerbaum setzt sich in der Hauptsache aus „Events“ und „Gates“ zusammen. Jedem Event ist eine Wahrscheinlichkeit zugeordnet. Diese verschiedenen Events werden über logische Verknüpfungen, die sogenannten Gates, verbunden. Aus der Verknüpfung der Wahrscheinlichkeiten der Basisereignisse lässt sich nun mit Hilfe der Gates die Wahrscheinlichkeit der Top-Events berechnen. Die nachfolgende Abbildung veranschaulicht das Prinzip der Abläufe im Fehlerbaum.

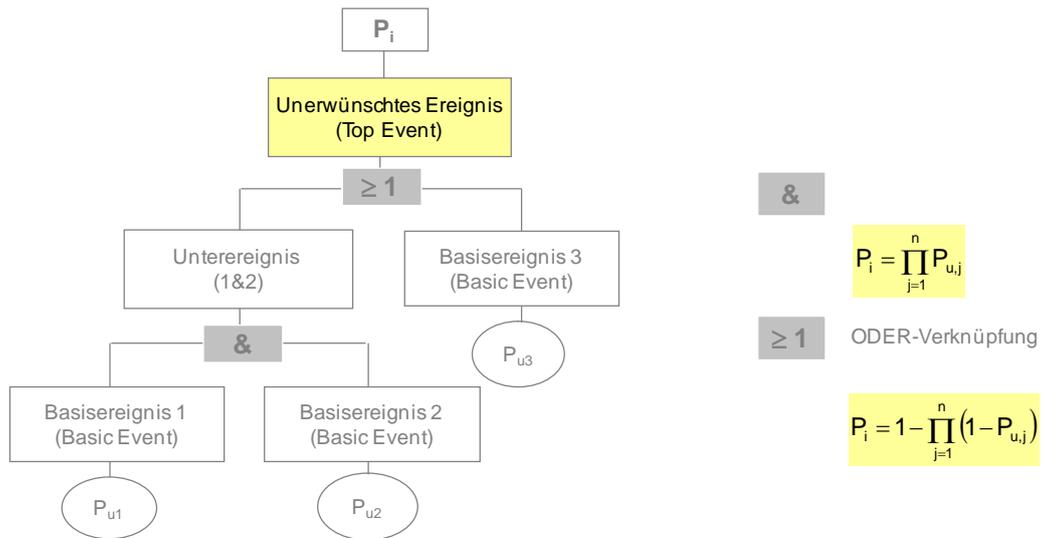
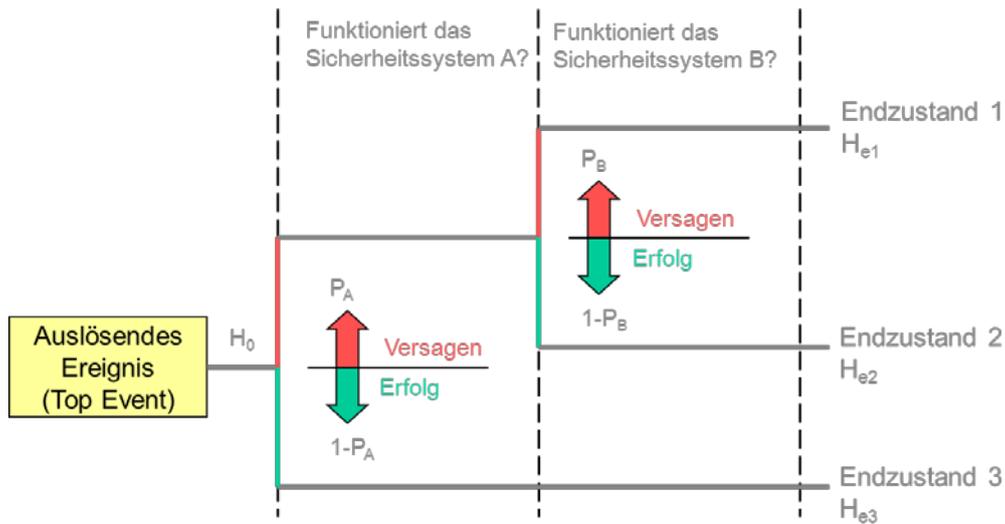


Abbildung 18: Abläufe im Fehlerbaum

Zur Ermittlung der Häufigkeiten von Endzuständen werden Ereignisabläufe modelliert, d.h. ausgehend von einem auslösenden Ereignis (dem Top Event) werden deduktiv alle möglichen Zwischenzustände bis hin zu den Endzuständen des Systems ermittelt und diese hinsichtlich ihrer zu erwartenden Häufigkeiten in einem Ereignisbaum quantifiziert. Zu Beginn der Modellierung des Ablaufes steht die Identifizierung der möglichen Systemantworten. Dabei handelt es sich um die Reaktion des Systems auf technische Betriebs- und Sicherheitssysteme sowie die Reaktion auf Eingriffe von Menschen. Vom auslösenden Ereignis aus werden die angeforderten Systemantworten (zum Beispiel die eines Sicherheitssystems) abgefragt, wobei unterschieden wird, ob ein Erfolg oder ein Versagen vorliegt. An diesem Punkt verzweigt sich der Ereignisablauf in weitere Zwischenzustände. Die Zwischenzustände werden analog zu denen des auslösenden Ereignisses auf Systemantworten untersucht. So entstehen bis zum Erreichen eines Endzustandes unterschiedliche Zweige des Ereignisablaufes. Zur besseren Veranschaulichung dieses Ereignisablaufes werden sogenannte Ereignisbäume verwendet (Abb. 17). Die jeweiligen Zweige des Ereignisbaumes geben die entsprechenden Eintrittswahrscheinlichkeiten wieder. Beispiel: „Lüftungssystem aktiviert“ entspricht einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 99%, „Lüftungssystem defekt“ entspricht einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 1%.

Eine schematische Darstellung eines Ereignisbaums zeigt nachfolgende Abbildung 19:



$$H_{ei} = H_0 \prod (\text{Verzweigungswahrscheinlichkeit } P_i \text{ im Zweig } i)$$

Abbildung 19: Prinzip der Ereignisabläufe im Ereignisbaum

2.2.5 Schadensausmaßermittlung

Die Quantifizierung von Risiken erfordert einerseits die Kenntnis über die Wahrscheinlichkeit, mit der bestimmte Ereignisse eintreten; andererseits wird das Maß für das Risiko durch die Folgen bestimmt, die sich im Falle des Eintritts eines Ereignisses ergeben (vgl. Definition des Risikos unter Abschnitt 2.2.1).

Die Folgen, die sich nach Eintreten eines Ereignisses ergeben, werden in der Methode der Quantitativen Risikoanalyse (QRA) durch das personenbezogene Schadensausmaß ausgedrückt, das durch mehrere sich überlagernde Effekte bestimmt wird.

Das personenbezogene Schadensausmaß ist zum einen abhängig von den Einwirkungen auf den menschlichen Organismus infolge äußerer Einflüsse durch Druck, Temperatur, Rauch und zum anderen von der Anzahl der potentiell betroffenen Personen im betreffenden Abschnitt. Beides sind hoch dynamische Vorgänge. Die Ausbreitung von Temperatur und Rauch unterliegt fluiddynamischen Gesetzmäßigkeiten. Die Anzahl der betroffenen Personen ist abhängig von der verkehrlichen Situation, dem Zeitpunkt der Detektion eines Ereignisses, der Zeit bis zur Sperrung eines Tunnels sowie den momentanen Fluchtbedingungen im Tunnel (den sog. Selbstrettungsbereichen).

Ob ein Tunnelnutzer in einem Ereignisfall erfolgreich in sichere Bereiche wie z.B. den Notausgängen flüchten kann, hängt maßgeblich von den örtlich vorhandenen Bedingungen ab. Als Abschätzung der Fluchtbedingungen dienen sogenannte Letalitätskurven, die wiedergeben, unter welchen äußeren Bedingungen eine Person überleben bzw. nicht überleben kann. Basierend auf den Ergebnissen von Simulationen lassen sich somit in Abhängigkeit von der Fluchtgeschwindigkeit Bereiche ableiten, aus denen eine Selbstrettung erfolgreich, bedingt möglich oder nicht mehr möglich ist.

2.2.6 Umsetzung der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung im RETISS-Demonstrator

Die Umsetzung der zuvor erläuterten Methodik zur Gefährdungsanalyse und Risikobewertung im RETISS-Demonstrator ist in Abbildung 20 dargestellt. Die Berechnungsabläufe gliedern sich in einen Online-Zweig (in der Abbildung orange dargestellt) und in einen Offline-Zweig (in der Abbildung blau dargestellt). Da die Berechnung der Schadensausmaße mittels numerischer Strömungs- und Evakuierungssimulation langwierige Prozesse darstellen (typischerweise werden für die Berechnung eines Szenarios auf einem leistungsfähigen PC Rechenzeiten von 24 bis 48 Stunden benötigt), werden die Schadensausmaße für bestimmte, für den betrachteten Tunnel typische und darauf ausgelegte Situationen im Vorhinein (offline) berechnet. Die Ergebnisse dieser Simulationsszenarien werden in einer Datenbank abgelegt. Die Datenbank enthält darüber hinaus die objektspezifischen empirischen Daten, die zur Ermittlung der Eintrittswahrscheinlichkeiten von Initialereignissen benötigt werden, sowie die erforderlichen Konfigurationsdaten und Parameter zur Risikoanalyse und -bewertung und zur Visualisierung der Gefährdungssituation.

Die wesentlichen Berechnungsprozesse für die Quantitative Risikoanalyse erfolgen jedoch in Echtzeit (online) auf der Basis von aktuellen Messwerten und Meldungen aus den verfügbaren Detektionssystemen.

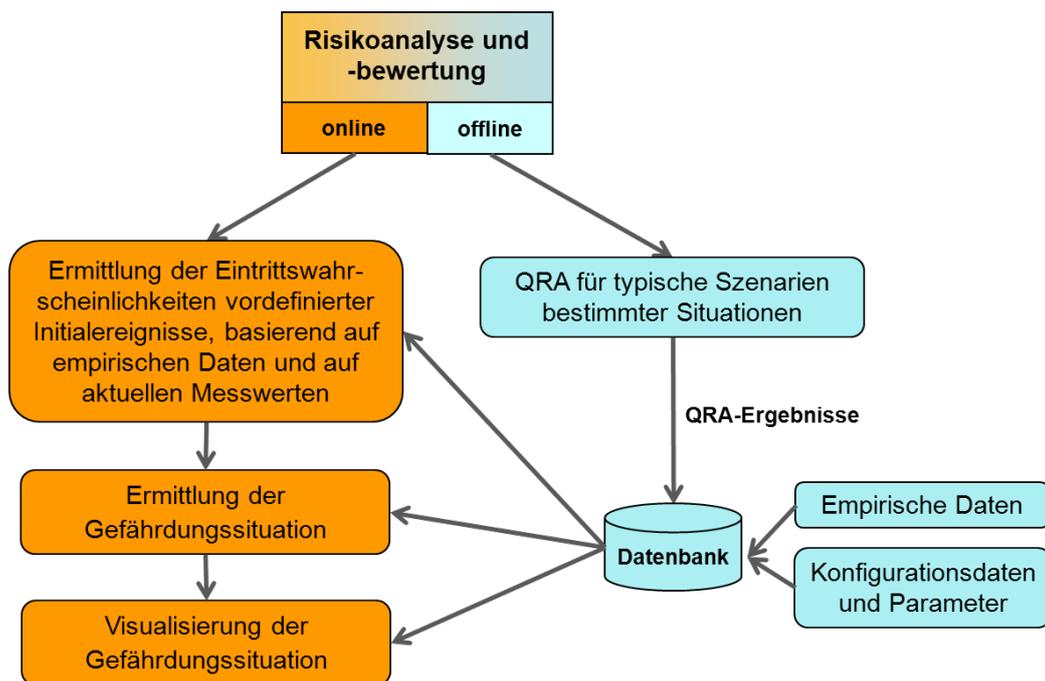


Abbildung 20: Berechnungsabläufe im RETISS-Demonstrator

2.2.7 Visualisierung der Gefährdungssituation im RETISS-Demonstrator

Die Visualisierungsoberfläche eines Echtzeit-Risikoanalyse-Systems von exponierten Straßeninfrastrukturelementen (insbesondere Tunnel und Brücken) soll den Operatoren in der entsprechenden Leitstelle die Möglichkeit verschaffen, einen schnellen, kompakt

dargestellten Überblick über die Gefährdungssituation aller zu überwachenden Objekte erlangen zu können. Zudem soll sie die Operatoren in die Lage versetzen, wenn gewünscht, detailliertere Informationen über den Status der mit der Risikoermittlung zusammenhängenden Initialereignisse, Parameter und räumlichen Abschnitte zu erhalten.

Im Rahmen von RETISS dient der Tunnel Rennsteig als Referenzobjekt. Die zuständige Leitzentrale überwacht gleichzeitig alle Tunnel im Autobahnnetz des Bundeslandes Thüringen. Um dies zu berücksichtigen, enthält die vorgeschlagene Hauptansicht der Visualisierungsoberfläche aggregierte Daten für alle relevanten Tunnel (siehe Abbildung 21). Dabei ist die Anordnung der einzelnen Elemente für den Benutzer frei wählbar.

Autobahn A 71			Autobahn A 4			Autobahn A 38		
Tunnel Alte Burg			Tunnel Jena			Tunnel Höllberg		
↓ WU ↓	Ereignis	↑ EF ↑	↓ G ↓	Ereignis	↑ EF ↑	↓ HAL ↓	Ereignis	↑ GÖ ↑
→	Fahrzeugpanne	→	→	Fahrzeugpanne	→	→	Fahrzeugpanne	→
↑	Unfall	→	↑	Unfall	→	↑	Unfall	→
→	Brand	↑	→	Brand	↑	→	Brand	↑
→	Explosion	→	→	Explosion	→	→	Explosion	→
↗	Gefahrgut-freisetzung	↗	↗	Gefahrgut-freisetzung	↗	↗	Gefahrgut-freisetzung	↗
Tunnel Rennsteig			Tunnel Jagdberg					
↓ WU ↓	Ereignis	↑ EF ↑	↓ G ↓	Ereignis	↑ EF ↑			
→	Fahrzeugpanne	→	→	Fahrzeugpanne	→			
↑	Unfall	→	↑	Unfall	→			
→	Brand	↑	→	Brand	↑			
→	Explosion	→	→	Explosion	→			
↗	Gefahrgut-freisetzung	↗	↗	Gefahrgut-freisetzung	↗			
Tunnel Hochwald								
↓ WU ↓	Ereignis	↑ EF ↑						
→	Fahrzeugpanne	→						
↑	Unfall	→						
→	Brand	↑						
→	Explosion	→						
↗	Gefahrgut-freisetzung	↗						

Abbildung 21: RETISS-Visualisierungsoberfläche: Hauptansicht (Ausschnitt)

Das gewählte Layout für diese Hauptansicht ist angelehnt an eine bereits in der *Zentralen Betriebsleitstelle (ZBL)* des *Thüringer Landesamts für Straßenbau (TLBV)* existierende Oberfläche, die ebenso die aktuellen Daten zu bestimmten Parametern jedes überwachten Tunnels in tabellarischer Form anführt (siehe Abbildung 22).

das Initialereignis aktuell berechnet hat. Ist die aktuelle Risikostufe Gelb oder Rot, dann werden zusätzlich die für das erhöhte Risiko verantwortlichen Parameter angeführt.

Tunnel Rennsteig		
↓ WÜ ↓	Ereignis	↑ EF ↑
→	Fahrzeugpanne	→
↑	Unfall	→
↗	Brand	↑
→	Explosion	→
↗	Gefahrgutfreisetzung	↗

Unfall (Fahrtrichtung Würzburg)	
Abschnitt 1:	Risiko: 12345 Parameter: Störfalldetektion Notruf
Abschnitt 2:	Risiko: 911
Abschnitt 3:	Risiko: 1234 Parameter: Geschw.differenz

Abbildung 23: Tool Tip-Fenster für einzelne Initialereignisse

Durch einen Klick auf eines der Indikatorfelder, den Tunnelnamen oder die Spaltenköpfe der Fahrtrichtungen öffnet sich ein Pop up-Fenster mit weiteren Informationen.

Abbildung 24 zeigt die zwei Hauptansichten bei Auswahl eines Indikatorfeldes, die *Gangliniensicht* und die Sicht auf die aktuelle Situation im Streckenverlauf (*Aktuell*). Die Tabellenköpfe enthalten allgemeine Daten, wie den Namen des Objektes (Tunnel, etc.), das ausgewählte Initialereignis, die Fahrtrichtung und (bei der *Gangliniensicht*) den dargestellten, vom Nutzer anpassbaren Zeitabschnitt. Der darunter befindliche Datenbereich der Tabelle zeigt Informationen über die Risikostufe (Farbcodierung), den aktuellen Risikowert und listet bei den Risikostufen Gelb und Rot die dafür verantwortlichen Parameter auf. In der linken Spalte ist die Abschnittseinteilung des betrachteten Objektes aufgeführt. In der *Gangliniensicht* enthält die mittlere Spalte Diagramme, die den zeitlichen Verlauf des Risikowertes über den im Tabellenkopf angegebenen Zeitraum mitsamt den Grenzen der drei Risikostufen (horizontale Linien) darstellen. An gleicher Stelle sind in der *Streckensicht* nähere Daten zur Abschnittseinteilung, namentlich die Stationierung der Abschnittsgrenzen angegeben.

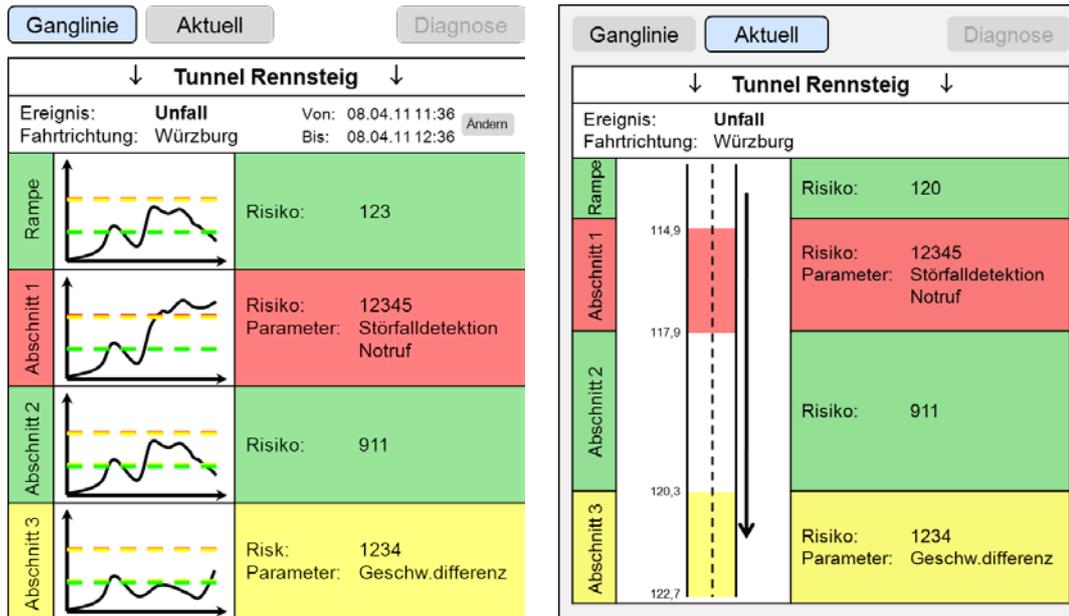


Abbildung 24: Pop up-Fenster mit Detailinformationen – Gangliniensicht (linkes Bild) und Sicht auf die aktuelle Situation im Streckenverlauf (rechtes Bild)

Die beschriebenen Ansichten wurden am Beispiel der Darstellung für ein Initialereignis und eine Fahrtrichtung dargestellt (Klick auf ein *Indikatorfeld*). Über einen Klick auf einen Fahrtrichtungsspaltenkopf oder das Tunnelnamen-Feld sind die vorher beschriebenen Informationen für den erweiterten räumlichen Umfang (entsprechend des angeklickten Feldes) zu erlangen.

Zusätzlich zu den beiden beschriebenen und für die Operatoren relevanten Ansichten (*Ganglinie* und *Strecke*) gibt es noch die *Diagnosesicht*, die hauptsächlich als Diagnosewerkzeug zur Überprüfung und Validierung des darunter liegenden RETISS-Systems und seiner gelieferten Ergebnisse dient. Hier werden die Daten bis auf die einzelnen, die Risikoberechnung des betrachteten Initialereignisses beeinflussenden Parameter herunter gebrochen.

3. Präventive und ausmaßmindernde Schutzmaßnahmen

Ergänzend zu der Entwicklung von neuartigen Detektionssystemen und der Erkennung von Risikosituationen für kritische Straßeninfrastrukturen wurde in RETISS ein Konzept für ein Expertensystem zur Einleitung von präventiven und ausmaßmindernden Maßnahmen entwickelt. Einige dieser Maßnahmen sind in der Folge aufgeführt. Insbesondere die Unterscheidung von verkehrlichen und betrieblichen Maßnahmen ist hierbei von Bedeutung. Nachfolgend werden die Maßnahmen, ihre Zuordnung und Wirkung beschrieben.

3.1 Präventive Schutzmaßnahmen

3.1.1 Verkehrliche Maßnahmen

Die verkehrlichen Maßnahmen, die präventiv, d.h. bereits vor Eintritt eines Ereignisses eingeleitet werden können, lassen sich wie folgt gruppieren:

- A) Objektbezogene Maßnahmen, d.h. Maßnahmen, die sich auf das Verkehrsgeschehen im unmittelbaren Umfeld des betrachteten Tunnels oder eine Brücke auswirken, indem sie den Verkehrsablauf auf der Tunnelstrecke (einschl. dem Tunnelvorfeld) beeinflussen.
- B) Netzbezogene Maßnahmen, d.h. Maßnahmen, die das Verkehrsaufkommen auf der Tunnel- bzw. Brückenstrecke beeinflussen, indem sie Verkehrsverlagerungen in der Umgebung des betrachteten Tunnels bewirken.

Im Einzelnen bestehen folgende, auf das Verkehrsgeschehen wirkende präventive Schutzmaßnahmen:

Maßnahme	Beschreibung
Geschwindigkeitsreduzierung	Die Geschwindigkeit im Tunnel wird (über die gesamte Länge) auf 60 bzw. 40 km / h abgesenkt. Dadurch soll der Verkehrsablauf harmonisiert bzw. das allgemeine Geschwindigkeitsniveau gesenkt werden.
Lkw-Pulkauflösung	Lkw haben im Vergleich zu Pkw eine sehr hohe Brandlast. Darum sollte vermieden werden, dass im Falle eines gesteigerten Brandrisikos Lkw zu dicht aufeinander folgen, um ein Überspringen von Bränden auf (weitere) Lkw zu verhindern. Zur Schaffung des notwendigen Abstandes zwischen den Lkw wird eine Zuflussregulierung eingesetzt, so dass für die Lkw eine Einzelfahrzeugfreigabe für die Einfahrt in den Tunnel erfolgt.
Einzelfahrzeugausleitung	Fährt ein Fahrzeug, das das Risiko eines Unfalls, einer Explosion oder Gefahrgutfreisetzung nachhaltig beeinflussen würde, auf den Tunnel zu, so wird versucht, dieses Fahrzeug an der Einfahrt in den Tunnel zu hindern. Die Ausleitung des betroffenen Fahrzeugs kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Eine Möglichkeit besteht in der direkten Ansprache des Fahrzeuglenkers mittels dynamischer Anzeigen. Der Lenker wird aufgefordert nicht in den Tunnel einzufahren und vor dem Tunnel auf dem Seitenstreifen oder auf

	<p>möglichen Auslaufflächen zum Stehen zu kommen. Die individuelle Ansprache erfolgt über Anzeige des Kennzeichens auf der dynamischen Anzeige.</p> <p>Reagiert der Fahrzeuglenker nicht auf die Aufforderung oder besteht keine Möglichkeit zur individuellen Ansprache, muss zur Ausleitung des Einzelfahrzeugs kurzzeitig der gesamte Richtungsquerschnitt gesperrt werden. Dies erfolgt mittels der LSA am Tunnelportal und der mechanischen Sperreinrichtungen (Schranken). Im Anschluss wird dann das betroffene Fahrzeug durch die Polizei ausgeleitet bzw. auf den Seitenstreifen geführt, um dort bearbeitet zu werden. Während der Bearbeitung wird, soweit notwendig, der Hauptfahrstreifen auf Höhe des Fahrzeuges gesperrt und der Verkehr über den Überholfahrstreifen sicher am Fahrzeug vorbei geführt. Nach Ende der Bearbeitung wird der gesamte Querschnitt wieder frei gegeben.</p>
Fahrzeugklassenspezifische Ausleitung	<p>Je nach Initialereignis bzw. Grund für den Anstieg des Risikos werden bestimmte Fahrzeuggruppen um den Tunnel herum geleitet.</p> <p>Liegt der Anstieg des Risikos in einer zu hohen Wahrscheinlichkeit einer Gefahrgutfreisetzung begründet, so werden gezielt Gefahrguttransporte ausgeleitet. Befinden sich zu viele Personen im Bereich des Tunnels, so werden Busse um den Tunnel herum geleitet. Bei einer zu hohen Brandlast werden Umleitungen für Lkw angezeigt.</p> <p>Die Ausleitung wird durch entsprechende Wegweisung auf dynamischen Anzeigen, am besten unterstützt durch Text, angezeigt.</p>
Netzsteuerung (empfehlend)	<p>Eine Netzsteuerung, basierend auf Hinweisen oder Umleitungsempfehlungen kann zum einen eingesetzt werden, um das Verkehrsaufkommen im Tunnel zu senken und damit einen besseren Verkehrsfluss zu ermöglichen (z. B. Vermeidung von Staus). Zum anderen kann sie genutzt werden, um die Anzahl der potentiell Betroffenen zu verringern, da durch die Umlenkung von Verkehrsanteilen die Zahl von auf den Tunnel zufahrenden Personen gesenkt wird.</p> <p>Die Umlenkung von Verkehren wird über Hinweise im Verkehrsfunk und/oder Wechselwegweisung an geeigneten Netzknotenpunkten realisiert.</p>

3.1.2 Betriebliche Maßnahmen

Die betrieblichen Maßnahmen für Infrastrukturen, die präventiv, d.h. bereits vor Eintritt eines Ereignisses wirken, umfassen vor allem folgende betriebstechnische und organisatorische Maßnahmen:

Maßnahme	Beschreibung
Gefahrgutbeschränkung bzw. Kategorisierung	<p>Die Kategorisierung und Beschränkung von Gefahrgut als präventive Maßnahme kann Brand, Gefahrgutfreisetzung sowie durch Unfälle ausgelöste Explosionen verhindern. Bestimmte Gefahrgüter können selektiv ausgeschlossen werden, wodurch Unfälle mit den ausgeschlossenen Gefahrgütern nicht mehr auftreten.</p> <p>Durch eine alleinige Beschränkung ohne zusätzliche Maßnahmen wird ein Großteil der ausgeschlossenen Gefahrgüter ferngehalten. Soll die Sicherheit optimiert werden, kann die Gefahrgutbeschränkung mit einer Gefahrgutdetektion und einer Sperreinrichtung für den Tunnel kombiniert werden. So kann auch die vorsätzliche, unerlaubte Einfahrt in den Tunnel verhindert werden.</p>
Tunnel- bzw. Brückenspernung	<p>Bei Auftreten einer Risikosituation kann ein Tunnel durch Aktivierung der Tunnelsperreinrichtung bzw. durch eine entsprechende Schaltung der LSA präventiv (d.h. vor Ereigniseintritt) gesperrt werden. Bei Brücken können elektrisch angetriebene Schranken und LSA sowie WVZ zum Einsatz kommen. Sperreinrichtungen für Brücken können für besondere Brücken empfohlen werden und orientieren sich dann an den Vorgaben für Tunnelbauwerke laut RABT.</p>
Voralarm Rettungsdienste	<p>Bei einer Risikosituation im Tunnel oder auf einer Brücke können Einsatz-bzw. Rettungsdienste bereits präventiv informiert werden.</p>
AGAP aufschalten	<p>Gemäß RABT sind die Betreiber von Tunnelanlagen verpflichtet, Alarm- und Gefahrenabwehrpläne (AGAP) zu erstellen. In den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen sind die bei einem Ereignis zu treffenden technischen und organisatorischen Maßnahmen festgelegt. Sie enthalten Alarm- und Einsatzdokumente, Erläuterungen und Pläne zum Bauwerk und den sicherheitstechnischen Einrichtungen sowie externe Dokumente wie den Feuerwehrplan.</p> <p>Die Alarm- und Gefahrenabwehrpläne dienen der Vorbereitung auf Ereignisse und können präventiv aufgeschaltet werden. Ein automatisches Aufschalten der AGAP (bspw. als digitale Version auf der generellen Benutzeroberfläche der Operatoren) vor Eintreten eines Ereignisses kann die Auswahl von präventiven Maßnahmen beschleunigen und so einer potentiellen Risikosituation vorbeugen.</p>
Lüftung einschalten	<p>Bei einer Risikosituation im Tunnel (Bsp. Anstieg der Wahrscheinlichkeit eines Brandes) kann die Lüftung präventiv angesteuert werden. Bereits vor Eintritt eines Ereignisses (Brand) können nach RABT Abschnitt 4.6 die für Brände vorgesehenen Lüftungsprogramme durch das Überwachungspersonal aktiviert werden.</p>
Beleuchtung hochfahren	<p>Die Beleuchtung ist ebenso wie die Lüftung nach den RABT geregelt (Abschnitt 3). Hierbei wird vor allem zwischen langen und kurzen Tunneln unterschieden. Das Beleuchtungsniveau wird</p>

	dabei generell von verschiedenen Parametern wie Art des Beleuchtungssystems, dem Verhältnis Wandleuchtdichte zu Fahrbahnleuchtdichte, Haltesichtweite, Verkehrsstärke, -art und -zusammensetzung sowie der Verkehrsführung beeinflusst. Bei potentiell kritischen Ereignissen kann das Beleuchtungsniveau beispielsweise durch das Hochfahren der Beleuchtung als präventive Maßnahme gewählt werden, um die Sicht im Tunnel bspw. bei Rauchausbreitung oder erhöhtem Verkehr zu verbessern. Hierfür ist eine möglichst kleinstufige Steuerungs- bzw. Regelungsanlage vorgesehen, um beispielweise zu gewährleisten, dass die Beleuchtung an die sich täglich ändernden stündlichen Verkehrsstärken angepasst werden kann.
Warnhinweise	So genannte Kommunikationseinrichtungen ermöglichen für Tunnel nach RABT Abschnitt 6.2 die Kommunikation mit den Nutzern. Zum präventiven Einsatz eignen sich hierbei vor allem der allgemeine Tunnelfunk, sowie die Lautsprecheranlagen, die als Kommunikationsmedien für entsprechende Warnhinweise bei einer potentiell kritischen Situation (z.B. Belegung der Pannenbucht) genutzt werden können. Neben den Durchsagen von gespeichertem Text kann der Operator auch direkte Sprachdurchsagen nutzen, die auf eine potentiell kritische Situation aufmerksam machen.

3.2 Maßnahmen zur Ausmaßminderung

3.2.1 Verkehrliche Maßnahmen

Nach Eintreten eines Ereignisses sind geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Schadensausmaßes zu treffen. Je nach Schwere und zu erwartenden bzw. bereits eingetretenen Folgeschaden des Ereignisses kommen in der Regel Sperr- und Umleitungsmaßnahmen in Frage.

Im Einzelnen bestehen folgende, auf das Verkehrsgeschehen wirkende Maßnahmen zur Ausmaßminderung:

Maßnahme	Beschreibung
Fahrstreifensperrung	Nach einem Unfall oder falls sich Gegenstände auf einem Fahrstreifen befinden, die Verkehrsabwicklung aber über den verbleibenden Fahrstreifen möglich ist, wird der betroffene Fahrstreifen gesperrt. Damit werden zum einen die entsprechende Stelle sowie die dort agierenden Personen abgesichert und zum anderen wird eine höhere Sicherheit für die passierenden Verkehrsteilnehmer erreicht. Zur Einleitung der Fahrstreifensperrung wird per Wechselverkehrszeichen zum einen die Geschwindigkeit auf 60 km / h reduziert und zum anderen erst ein Pfeil in Richtung des verbleibenden Fahrstreifens und dann ein rotes Kreuz über dem einzuziehenden Fahrstreifen angezeigt. Zusätzlich werden das Zeichen 101 StVO (Gefahrstelle) und – bei Unfall – der Text

	UNFALL angezeigt.
Fahrtrichtungssperrung	<p>Tritt ein Unfall ein oder befindet sich ein Objekt auf der Fahrbahn und eine Fahrstreifensperrung reicht nicht aus, um den Ort abzusichern, so wird die gesamte Fahrtrichtung gesperrt.</p> <p>Die Sperrung erfolgt durch mehrere Einzelmaßnahmen. Vor dem Tunnel wird der Verkehr mittels eines Geschwindigkeitstrichters (60 bzw. 40 km / h) auf den Wechselverkehrsteichen (WVZ A) verlangsamt, um dann direkt vor dem Tunnelportal durch die roten Kreuze auf den Dauerlichtzeichen (DLZ) auf die Sperrung hingewiesen und durch die Schranke angehalten zu werden. Im Tunnel wird durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit auf 40 km / h und durch das Lkw-Überholverbot versucht, die im Tunnel befindlichen Fahrzeuge zügig aus dem Tunnel herauszuführen.</p>
Totalsperrung	<p>Tritt ein Brand, eine Explosion oder Gefahrgutfreisetzung ein, so wird der Tunnel in beide Richtungen gesperrt. Ebenso wird verfahren, wenn eine Fahrtrichtungssperrung bei einem Unfall nicht ausreichend ist, um die Zufahrt für Einsatzfahrzeuge zu ermöglichen.</p> <p>Die Sperrung erfolgt analog zur Fahrtrichtungssperrung, jedoch für beide Fahrtrichtungen. Vor dem Tunnel wird der Verkehr mittels eines Geschwindigkeitstrichters (60 bzw. 40 km / h) auf den Wechselverkehrsteichen (WVZ A) verlangsamt, um dann direkt vor dem Tunnelportal durch die roten Kreuze auf den Dauerlichtzeichen (DLZ) auf die Sperrung hingewiesen und angehalten zu werden. Im Tunnel wird durch eine Reduzierung der Geschwindigkeit auf 40 km / h und durch das Lkw-Überholverbot versucht, die im Tunnel befindlichen Fahrzeuge zügig aus dem Tunnel herauszuführen.</p>
Netzsteuerung (verbindlich)	<p>Die verbindliche Netzsteuerung wird eingesetzt, sobald eine länger andauernde Sperrung des Tunnels vorliegt. Dadurch soll der Verkehrsfluss zum Stau minimiert und damit die Verlustzeiten der Verkehrsteilnehmer verringert werden.</p> <p>Die Umlenkung von Verkehren wird über Wechselwegweisung an geeigneten Netzknotenpunkten realisiert.</p>

Im Falle von Ereignissen, auf die mit Sperrmaßnahmen reagiert werden muss, sollten in der Leitzentrale automatisch die Videobilder der Kameras aufgeschaltet werden, mit denen der Ereignisort überblickt werden kann. Die Videoaufschaltung ist eine Maßnahme ohne direkten Einfluss auf das Verkehrsgeschehen. Sie dient jedoch als Bewertungsgrundlage für den Operator, um in Fällen einer nicht eindeutigen Detektion eines Ereignisses die Entscheidung treffen zu können, ob dieses Ereignis wirklich vorliegt. Ist dies der Fall, so kann dann eine zielgerichtete Wahl von Maßnahmen zur Einflussnahme auf das entsprechende Ereignis und dessen Folgen durch den Operator vorgenommen werden.

3.2.2 Betriebliche Maßnahmen

Die betrieblichen Maßnahmen für Infrastrukturen, die ausmaßmindernd wirken, d.h. bei Eintreten eines Ereignisses das Schadensausmaß reduzieren können, umfassen vor allem folgende betriebstechnische und organisatorische Maßnahmen:

Maßnahme	Beschreibung
Gefahrguterkennung	Die Gefahrguterkennung (z.B. durch RFID) informiert den Operator und ggf. Einsatzdienste über die Typen von im Tunnel befindlichen Gefahrgütern und erlaubt beispielsweise den Einsatz von alternativen Schaumlöschmitteln, was zu ausmaßmindernden Effekten führen kann. Darüber hinaus kann die Einhaltung der Tunnelkategorie gemäß ADR überwacht werden.
Schnellere Ereignisdetektion	Eine schnellere Ereignisdetektion wirkt ausmaßmindernd bei den von RETISS untersuchten Initialereignissen. Sie ermöglicht eine frühere Aufforderung der Nutzer zur Flucht in sichere Bereiche und verbessert so die Möglichkeit zur Selbstrettung. Zusätzlich kann eine frühere Ansteuerung der Brandlüftung erreicht werden. Des Weiteren bewirkt ein früheres Sperren der Tunnelzufahrten eine Reduktion der Anzahl von potenziell gefährdeten Tunnelnutzern. Eine Verkürzung in der Ereignisdetektion kann durch die Installation zusätzlicher Detektionssysteme erzielt werden bspw. durch Videodetektionssysteme im Tunnel oder eine Kombination von Detektionssystemen wie es in RETISS erfolgt ist.
Dynamische Fluchtwegkennzeichnung (Beleuchtung)	Eine dynamische Fluchtwegkennzeichnung wirkt ausmaßmindernd bei Brand und Gefahrgutfreisetzung. Sie verbessert die Orientierung im Ereignisfall, indem sie nach Lokalisation der Gefahrquelle(n) Tunnelnutzern standortabhängig die besten Fluchtmöglichkeiten aus gefährdeten Bereichen mittels Lichtzeichen (beleuchtete Pfeile bzw. Kreuze) anzeigt. Sie wirkt hierdurch direkt auf den Nutzer und verbessert so die Möglichkeit zur Selbstrettung. Sobald die Freisetzung eines Gefahrenstoffes in einem Abschnitt des Tunnels detektiert wird, zeigen die Rettungszeichen ausschließlich Fluchtwege an, die nicht in den Tunnelabschnitt mit detektierter Gefahrstofffreisetzung hinein führen. Die dynamische Schaltung der Fluchtwegkennzeichnung erfordert im Ereignisfall eine Ereignisdetektion sowie die Bestimmung des Ereignisortes.
Tunnel- bzw. Brückenspernung	Bei besonders schwerwiegenden Fällen bspw. bei einem Unfall im Tunnel oder auf einer Brücke, bei Detektion eines Fahrzeugs mit überhitzten Komponenten (s.o.) oder bei Gefahrgutfreisetzung oder Explosionsereignissen kann ein Tunnel durch die Aktivierung der Tunnelsperreinrichtung bzw. durch eine entsprechende Schaltung der LSA gesperrt werden. Bei Brücken können elektrisch angetriebene Schranken und LSA sowie WVZ zum Einsatz kommen. Sperreinrichtungen für Brücken können für besondere Brücken empfohlen werden und

	<p>orientieren sich dann an der Vorgaben für Tunnelbauwerke laut RABT (Länge > 400m; Verkehrsstärke > 15.000 Kfz/d/Fahstreifen).</p> <p>Je nach Schweregrad der Ereignisses können bei ein- bzw. zweiröhriigen Tunneln entweder ein oder zwei Röhren (vollständige Sperrung) bzw. bei Brücken eine oder mehrere Fahstreifen gesperrt werden.</p>
Rauchabsaugung	<p>Eine Rauchabsaugung wirkt ausmaßmindernd bei Brand und Gefahrgutfreisetzung.</p> <p>Bei einer Rauchabsaugung werden einzeln ansteuerbare Rauchabzugsvorrichtungen aktiviert, über die Rauch und Schadgase sowie Wärme aus dem Tunnelinnenraum abgeführt werden. Die Abführung der mit Verbrennungsprodukten oder Schadgasen belasteten Tunnelluft erfolgt entweder über Ventilatoren direkt ins Freie oder über einen parallel zur Tunnelröhre verlaufenden Abluftkanal, an dessen Austrittsseite Axialventilatoren angeordnet sind. Der Abluftkanal wird üblicherweise durch den Einbau einer Zwischendecke im Tunnel realisiert. Im Abstand von 50 m bis 100 m sind in diese dann einzeln ansteuerbare Rauchklappen integriert.</p>
Infrastructure to car/car to infrastructure Kommunikation	<p>Diese Maßnahme ermöglicht es dem Betreiber, die Nutzer unmittelbar über Ereignisse und Maßnahmen zu informieren, damit Fahrzeugführer bei Notfällen in Tunneln adäquat reagieren können. Bei einer Kommunikation zwischen Fahrzeug (Nutzer) und Infrastruktur können auch umgekehrt Informationen (Fahrzeugzustand, Ladungsinformationen) vom Nutzer an die Tunnelleitzentrale gesendet werden. Die Maßnahme wirkt somit ausmaßmindernd. Bei einem Unfall im Tunnel können direkte Anweisungen an verschiedene Tunnelabschnitte gesendet werden, damit sich der Stau möglichst schnell auflöst. Im Falle einer Tunnelevakuierung können ebenfalls die notwendigen Anweisungen direkt an jedes Fahrzeug einzeln erteilt werden.</p>
Automatische Brandbekämpfungsanlage (ABBA)	<p>Als betriebliche Maßnahme dienen automatische Brandbekämpfungsanlagen dazu, einen Brand im Tunnel möglichst frühzeitig einzudämmen, typische Effekte eines Tunnelbrandes, wie Hitzestrahlung oder Rauchgasbildung, zu reduzieren und den Brand einzudämmen.</p> <p>Die Maßnahme dient somit vornehmlich der Unterstützung der Einsatzdienste und damit zur Reduzierung von Kollateralschäden sowie als Brandschutzmaßnahme für das Bauwerk.</p> <p>Bei ABBA's wird zwischen Sprinkler-, Wasserniederdruck-, Wasserhochdruck- und Schaumanlagen unterschieden. Eine automatische Brandbekämpfungsanlage wirkt bei Lachenbränden nach Detektion des Ereignisses ausmaßreduzierend durch die Freisetzung von Wasser, Wasserdampf oder Schaum.</p> <p>Neben der positiven Beeinflussung der Fremdrettungsphase ist davon auszugehen, dass bei einer rechtzeitigen Aktivierung der</p>

	<p>Anlage größere Schäden am Bauwerk verhindert werden können, da die Brandentwicklung aktiv gehemmt wird und dadurch die bauwerkskritischen Temperaturbereiche nicht erreicht werden. Eine verringerte strukturelle Schädigung des Tunnels hat zur Folge, dass Instandsetzungsarbeiten – und somit die gegebenenfalls erforderliche Sperrung eines Tunnels – verkürzt, unter Umständen und in Abhängigkeit vom Szenario sogar ganz vermieden werden können.</p>
TLZ-Operatoren-Training	<p>Beim TLZ-Operatoren-Training handelt es sich um eine organisatorische Maßnahmen, die ebenfalls dabei hilft, das Schadensausmaß bei kritischen Ereignissen zu reduzieren. Aufgrund der unterschiedlichen Vorqualifikationen des Tunnelbetriebspersonals und den sich ändernden (technischen) Anforderungen ist eine intensive Grundschulung sowie kontinuierliche Weiterbildung und Training der Operatoren eine wichtige Maßnahme.</p> <p>Es sollten allgemeine Standards für die Qualifikation und die Weiterbildung der Operatoren definiert werden, auf denen die Schulungskonzepte der TLZ aufbauen können. Einzelne allgemeine Module der Schulungen, wie z. B. Verhalten im Ereignisfall oder Kommunikation mit den Tunnelnutzern, könnten von einer zentralen Stelle koordiniert werden.</p>
AGAP aufschalten	<p>Ein automatisches Aufschalten der AGAP (bspw. als digitale Version auf der generellen Benutzeroberfläche der Operatoren) bei bzw. während eines Ereignisses kann im Ereignisfall die Reaktionszeiten reduzieren. Maßnahmen können somit schneller getroffen werden, was zur Reduzierung des Schadensausmaßes führt.</p>
Übungen für Betriebs- und Einsatzdienste	<p>Gemäß den RABT sind für Tunnel ab 400 m Länge zur Überprüfung der in den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen festgelegten Handlungsabläufe regelmäßige Übungen durchzuführen. In der RABT finden sich keine näheren Angaben über die Art bzw. den Umfang der Großübungen. In der Regel werden bei den Tunnelübungen Unfallszenarien mit und ohne Beteiligung von Gefahrgut sowie Brandereignisse geübt. Regelmäßige Übungen können somit als zentrale organisatorische Maßnahme angesehen werden, die das Schadensausmaß im Ereignisfall entscheidend reduzieren kann. Spezielle Übungen für Brücken können an den Vorgaben für Tunnel angelehnt werden.</p>
Voralarm Rettungsdienste	<p>Bei einer Risikosituation im Tunnel oder auf einer Brücke können Einsatz- bzw. Rettungsdienste bereits frühzeitig informiert werden, was einen potentiell ausmaßmindernden Effekt hat, da diese früher als ohne Voralarm am Einsatzort sein können.</p>
Warnhinweise	<p>Wie unter 3.2.1 beschrieben. Warnhinweise können auch bei Eintreten eines Ereignisses eine ausmaßmindernde Wirkung haben.</p>

4. Empfehlungen für die Anpassung der relevanten Normen und Richtlinien

Eine Anpassung der relevanten Normen und Richtlinien hinsichtlich des Einsatzes eines RETISS-Systems ist ein über das Projektende hinaus gehendes mittelfristiges Ziel des Projektkonsortiums. Bedingung hierfür ist ein vermarktungsfähiges Produkt.

Viele Länder haben in den letzten Jahren aufwendige und kostenintensive Nachrüstungsprogramme für Straßentunnel zur Erhöhung der Verkehrssicherheit aufgelegt. Hier ergeben sich Möglichkeiten, RETISS als innovatives System einzusetzen. Potentielle Kunden sind öffentliche Straßenverwaltungen, private Betreiber von PPP-Infrastrukturen oder Privatfirmen, die für den Betrieb ganzer Straßennetze verantwortlich sind (z.B. ASFINAG in Österreich oder AUTOSTRADE in Italien).

Im Folgenden werden Empfehlungen für die Anpassung der relevanten Normen und Richtlinien aufgezeigt. Obwohl das RETISS-System sowohl zur Verbesserung des Sicherheitsniveaus von Brücken als auch von Tunneln eingesetzt werden kann, konzentrieren sich die nachfolgenden Darstellungen vor allem auf den Bereich der Tunnelsicherheit. Dies ist ein Resultat der Erfahrungen durch die schweren Brandunfälle in den Straßentunneln der Alpenländer. 2004 wurde in diesem Zusammenhang die "Richtlinie [2004/54/EG](#) des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 29. April 2004 über Mindestanforderungen an die Sicherheit von Tunneln im transeuropäischen Straßennetz" (EG-Tunnelrichtlinie) bekannt gegeben.

Die nationale Umsetzung dieser Richtlinie erfolgte in den "Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln" (RABT), Ausgabe 2003 [[RABT03](#)]. Die RABT, Ausgabe 2006, ersetzen die Richtlinien aus dem Jahr 2003. Die RABT enthält Grundsätze, Hinweise und Kriterien für die Planung und die Ausstattung von Straßentunneln sowie für deren Betrieb. Der Maßnahmenkatalog ist ausgelegt auf

- eine sichere Verkehrsführung,
- der Vermeidung kritischer Ereignisse,
- dem Schutz der Tunnelnutzer und der Umwelt sowie
- der Unterstützung der Einsatzdienste bei der Hilfeleistung bei Bränden, Unfällen und Pannen.

Betroffen von den Regelungen der RABT sind alle für den Kraftfahrzeugverkehr bestimmten Tunnel ab einer geschlossenen Länge von 80 m. Die Richtlinien gelten darüber hinaus für bestehende Tunnel ab 400 m Länge.

Zu den Anforderungen an Tunnel ab einer Länge von 400m gehören spezifizierte Sicherheitsauflagen und -bestimmungen. Im Bereich der Tunnelüberwachung muss beispielsweise sichergestellt werden, dass Notrufe und die Videoüberwachung an eine ständig besetzte Stelle übertragen werden. Eine bauliche Sicherheitsbestimmung ist

beispielsweise die Implementierung von Nothalte- und Pannenbuchten ab einer Länge von 900m, bei besonderen Gegebenheiten ab 600m (z.B. >4 000 Lkw x km/Röhre und Tag) (RABT 2006: 34). Die RABT legt dabei vor allem die Sicherheitsbestimmungen für den Regelbetrieb fest.

Zusätzliche Maßnahmen zur Erhöhung des Sicherheitsniveaus von Tunneln ab einer Länge von 400m sind laut Punkt 0.5 der RABT nur dann durch eine Risikoanalyse zu bestimmen, sofern einer der nachfolgenden Sicherheitsparameter eine oder mehrere besondere Charakteristiken aufweist:

- Tunnellänge
- Anzahl der Tunnelröhren
- Anzahl der Fahrstreifen
- Fahrstreifenbreite
- Querschnittsgeometrie
- Unterirdische Zu- und Abfahrten
- Trassierung
- Bauart
- Richtungsverkehr oder Gegenverkehr
- Verkehrsaufkommen je Tunnelröhre
- Gefahr täglicher oder saisonaler Staubbildung
- Zugriffszeit der Einsatzdienste
- Anteil des LKW-Verkehrs
- Vorkommen, Anteil und Art des Gefahrgutverkehrs
- Merkmale der Zufahrtsstraßen
- Geschwindigkeitsbezogene Aspekte
- Geografische und meteorologische Verhältnisse (RABT 2006: 7)

Die Einführung eines Echtzeit-Sicherheitsmanagementsystems gehört derzeit nicht zu den verfügbaren zusätzlichen Maßnahmen. Unter RABT-Abschnitt 1.1.8 (Ausnahmen für innovative Technik) ist jedoch vereinbart worden, dass „auf Antrag des Tunnelmanagers hin Ausnahmen von den Anforderungen dieser Richtlinie“ gewährt werden, „um den Einbau und die Verwendung innovativer Sicherheitsverfahren zu ermöglichen, die im Vergleich zum heutigen Stand der Technik [...] einen gleichwertigen oder höheren Schutz bieten“ (RABT 2006: 10).

Grundsätzlich ist von vier Möglichkeiten der Einbringung eines RETISS-Systems auszugehen, wobei zwei auf den bisher bestehendem Regelwerk aufbauen und zwei eine Anpassung/Veränderung der Richtlinie erfordern.

4.1 Einsatz des RETISS-Systems nach bestehenden Richtlinien (gemäß RABT-Abschnitt 0.2)

Nach Abschnitt 0.2 der RABT von 2006 wurde vereinbart, dass „Abweichungen von den Richtlinien“ einer Begründung bedürfen, „hierbei darf der in diesen Richtlinien beschriebene

Sicherheitsstandard nicht unterschritten werden“ (RABT 2006: 7). Folglich könnte ein RETISS-System bereits laut aktuell gültigen Richtlinien eingesetzt werden. Bedingung hierfür ist jedoch der Nachweis der Wirksamkeit eines solchen Systems, der zu einem mindestens gleichwertigen Schutz der Tunnelnutzer führen muss. Dieser kann nur durch eine Risikoanalyse nach RABT-Abschnitt 0.5 nachgewiesen werden.

4.2 Einsatz des RETISS-Systems nach bestehenden Richtlinien (gemäß RABT-Abschnitt 0.5)

Weist ein Tunnelbauwerk ab 400 m Länge hinsichtlich der oben beschriebenen Sicherheitsparameter in einem oder mehreren dieser Parameter eine besondere Charakteristik auf, ist nach RABT-Abschnitt 0.5 eine Risikoanalyse durchzuführen.

Im Auftrag des Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) und der BASt wurde ein Leitfaden für Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln gemäß RABT 2006 (Abschnitt 0.5) zur Durchführung von (quantitativen) Risikoanalysen entwickelt, der die maßgeblichen, zu untersuchenden Faktoren und Vorgehensweisen aufzeigt (BASt 2009). In unkritischen Fällen (z.B. nur geringfügige Abweichungen zu den Vorgaben der RABT 2006) ist auch eine qualitative Risikoanalyse ausreichend (BASt 2009: 6).

Die Risikoanalyse setzt sich dabei aus drei Teilbereichen zusammen:

- Die Risikoanalyse als Basis der Sicherheitsbewertung
- Der Risikobewertung (Prüfung, ob die Sicherheit eines Systems ausreichend ist)
- Die Maßnahmenplanung (Evaluation von risikomindernden Maßnahmen aufgrund ihrer Wirksamkeit im Sinne der Risikoreduktion und ihrer Kosten) (vgl. BASt 2009: 10)

Berücksichtigung finden hierbei Kollision- und Brandszenarien. Neben der Festlegung von Risikokenngrößen, werden auch relevante Schadenindikatoren, Ereignishäufigkeiten und Schadenausmaße beschrieben.

In der Maßnahmenplanung (6.4) heißt es dann, „dass die Forderungen der RABT 2006 einzuhalten sind. Können die normativen Anforderungen für einen Tunnel gemäß den Richtlinien nicht umgesetzt werden, sind entsprechende alternative Sicherheitsmaßnahmen vorzusehen“ (BASt 2009: 14).

Hierbei kann auch die Implementierung eines echtzeitbasierten Sicherheitsmanagementsystems grundsätzlich berücksichtigt werden. Das RETISS-System ist eine Maßnahme, die präventiv wirkt, d.h. Unfällen/Brandereignissen vorbeugen kann. Für Infrastrukturbauwerke mit besonderen Charakteristiken kann unter Hinzuziehung der entsprechenden Maßnahmenanalyse die Implementierung eines RETISS-Systems zur frühzeitigen Detektion von risikoinduzierenden Faktoren und damit zu einem höheren Schutzniveau führen. Nach RABT kann die zuständige Verwaltungsbehörde „die Durchführung risikomindernder Maßnahmen als Alternative zu den baulichen Anforderungen akzeptieren, sofern diese Maßnahmen zu einem gleichwertigen oder höheren Schutzniveau führen“ (RABT 2006: 8).

Theoretisch reichen also die bestehenden Richtlinien bereits aus, das RETISS-System einzusetzen, wenngleich keine absolute Notwendigkeit hierfür besteht, sondern auch andere kompensatorische Maßnahmen gewählt werden können.

4.3 Einsatz des RETISS-Systems nach bestehenden Richtlinien (bei Nachrüstung bestehender Tunnel)

Unter besonderen Umständen kann sich bei Nachrüstmaßnahmen bei bestehenden Tunneln der Einsatz eines RETISS-Systems als kompensatorische Maßnahme eignen bspw. wenn aufgrund geologischer oder bautechnischer Beschränkungen eine ursprüngliche Nachrüstmaßnahme nicht umgesetzt werden kann. Ein Beispiel hierfür ist zum Beispiel die Nachrüstung von Notausgängen, Flucht- und Rettungswegen (gemäß Abschnitt 6.1.3) (RABT 2006: 35). Kann beispielsweise aus geologischen Gründen ein Rettungsstollen nicht bzw. nur zu unverhältnismäßig hohen Kosten nachgerüstet werden, kann der Einsatz eines RETISS-Systems als präventive Maßnahme die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls oder eines Brandes im Tunnel maßgeblich reduzieren und als kompensatorische Maßnahme für die Anlegung eines Rettungsstollens implementiert werden.

Hierbei ist zu beachten, dass bei Nachrüstung eines RETISS-Systems selbst örtliche und verkehrliche Grundvoraussetzungen gegeben sein müssen. Beispielsweise muss bei der Implementierung eines präventiven Systems die Möglichkeit einer Ausleitung von bspw. detektieren Fahrzeugen mit überhitzten Bremsen gegeben sein. Dies kann bspw. vor einem Tunnel eine reguläre Ausfahrt oder aber eine zusätzliche Ausfahrt sein, die die reibungslose Ausleitung auch von Schwerlasttransporten erlaubt ohne den nachfolgenden Verkehr zu gefährden.

4.4 Einsatz des RETISS-Systems bei Anpassung der bestehenden Richtlinien

Grundsätzlich ist die RABT für den Regelbetrieb ausgelegt. Die Erweiterung der Richtlinien hinsichtlich von Aspekten, die die zivile Sicherheit betreffen, ist derzeit nicht vorgesehen. Eine mögliche Herangehensweise zur Anpassung der bestehenden Normen und Richtlinien wäre es, erweiterte Sicherheitsbestimmungen zu treffen, die nur für besonders kritische Bauwerke gelten können. Denkbar wäre in diesem Zusammenhang eine Anpassung der bestehenden Bestimmungen hinsichtlich besonders schützenswerter Bauwerke, die aufgrund besonderer Charakteristika als kritisch gelten können.

Derzeit gibt es kein Standardverfahren zur Bestimmung von kritischen Straßeninfrastrukturbauwerken. In diversen Forschungsprojekten (SKRIBT, SKRIBTPlus, SeRoN) (SKRIBT 2012; SeRoN 2012), an denen die BASt beteiligt war, wurden Verfahrensweisen und Methoden zur Bestimmung der Kritikalität von Straßeninfrastrukturbauwerken entwickelt. Kritische Infrastrukturbauwerke sind hiernach solche Bauwerke, die neben bestimmten, das Objekt betreffenden Charakteristiken wie beispielsweise

- die Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke (DTV) und der Anteil des Schwerlastverkehrs

- das Schadenspotential
- die volkswirtschaftlichen Konsequenzen eines Ausfalls des betreffenden Bauwerks
- sowie die Wahrscheinlichkeit (bestimmt durch Unfallstatistiken, bauwerkliche Charakteristik, etc.)

auch eine erhebliche Relevanz für das nachgelagerte Netz aufweisen. Kommt es beispielsweise aufgrund von fehlenden Ausweichrouten zu erheblichen volkswirtschaftlichen Konsequenzen durch den Ausfall eines Bauwerks, kann dieses als kritisch angesehen werden.

Bestimmte Infrastrukturbauwerke können somit als kritischer für den gesamten Verkehr eingestuft werden als andere, wenngleich absolut bestimmbare Schwellen- bzw. Grenzwerte hierbei noch nicht festgelegt wurden (beispielsweise Grenzwerte für maximal akzeptierbare volkswirtschaftliche Folgekosten durch den Ausfall eines Bauwerks).

Mit der Implementierung eines RETISS-Systems kann bei diesen speziellen bzw. kritischen Bauwerken ein erheblich höherer Sicherheitsstandard erzielt werden, als es etwa die RABT für den Regelbetrieb vorschreibt.

Eine mögliche Anpassung der RABT und anderer Regelwerke hinsichtlich des Einsatzes eines echtzeitbasierten Sicherheitsmanagementsystems kann über folgende Vorgehensweisen erfolgen:

1. Die Entwicklung einer bestimmten Methodik (angelehnt an die Methodik zur Identifizierung kritischer Bauwerke)
2. Die Aufstellung von pauschalen Sicherheitsparametern, die den Einsatz eines RETISS-Systems erforderlich machen würden.

Für beide Optionen ist unbedingte Voraussetzung, dass die Wirksamkeit der RETISS-Maßnahme nachweisbar und dokumentierbar ist und damit auch in die risikoanalytische Betrachtung gemäß RABT-Abschnitt 0.5 mit einbezogen werden kann.

Zu 1: Nur die Bauwerke werden mit einem RETISS-System ausgestattet, die gemäß der vorliegenden Methodik als maximal kritisch eingestuft werden können:

Mittels der oben beschriebenen Kriterien kann eine qualitative Bewertung von Infrastrukturbauwerken auf einem bestimmten Korridor vorgenommen werden und im Sinne einer Vorselektion die Anzahl der möglicherweise kritischen Bauwerke begrenzt werden. In einem weiteren Schritt kann die Bedeutung eines bestimmten Bauwerkes für das Gesamtverkehrsnetz ermittelt bzw. simuliert werden und die Auswirkungen des Ausfalls eines bestimmten Bauwerks in verschiedenen Dimensionen bestimmt werden (Auswirkungen auf Straßensicherheit, Umwelt, regionale Wirtschaft, Infrastruktur).

Unter Hinzuziehung von bestimmbaren Schwellenwerten könnte die Implementierung eines RETISS-Systems verlangt werden, falls eine risikoanalytische Betrachtung nach RABT-Abschnitt 0.5 die Erreichung eines höheren Schutzniveaus der Maßnahme nachweist.

Zu 2: Alternativ kann die Implementierung eines RETISS-Systems an bestimmte pauschale Charakteristiken geknüpft werden. Hierfür seien beispielhaft folgende Charakteristiken benannt:

- DTV über 100.000 Fahrzeugen am Tag/ Schwerlastverkehr > 15%
- Tunnellänge > 4 km
- Statistisch nachweisbare Unfallwahrscheinlichkeit/Staugefahr bzw. „Tunnel mit täglich stockendem Verkehr und entsprechender Stauneigung“ (gemäß RABT 2006: 22)
- Gefahrguttransporte sind zugelassen

Die genauen festzulegenden Charakteristiken sollten sich dabei an transparente und detaillierte Vorgaben halten, die sich beispielsweise aus den risikoinduzierenden Faktoren (in der RABT beschriebene Sicherheitsparameter) ableiten lassen.

4.5 Internationale Richtlinien und Gremien

Über die nationalen Richtlinien hinausgehend ist das zusätzliche Einbringen der RETISS-Ergebnisse in internationalen Gremien und über diesen Weg auch in internationale Richtlinien ein vielversprechender Ansatz. Auf internationaler Ebene ist die BAST Mitglied im PIARC (World Road Association) im Arbeitsgremium zur Sicherheit von Straßentunneln sowie im TRB Gremium (Transportation Research Board, USA) für den Schutz kritischer Verkehrsinfrastruktur (ABE 40) und wird die Ergebnisse in diesem Rahmen einbringen.

5. Workshop

Am 5. und 6. November 2013 fand in Zella-Mehlis der Projekt-Workshop mit Experten aus mehreren Bundesländern aus dem Bereich Tunnelbetrieb und Tunnelsicherheit statt. Ziel des Workshops war es, Betreiber und Operatoren über das Projekt RETISS und dessen Anwendungsmöglichkeiten zu informieren und gleichzeitig *Feedback* für die Weiterentwicklung des Systems und seiner Teilkomponenten zu bekommen.

Insbesondere folgende Aspekte wurden mit und unter den Teilnehmern diskutiert:

- Einsatz des RETISS-Systems im praktischen Betrieb von Verkehrs- bzw. Tunnelleitzentralen
- Fragen der Parametrierung des RETISS-Systems (Infrarotdetektion und Online-Risikoanalyse)
- Automatisierungsaspekte bei der Maßnahmenschaltung und rechtliche Hürden
- Geeignete Infrastrukturbauwerke zum Einsatz des RETISS-Systems
- RETISS als kompensatorische Maßnahme sowie die Fortschreibung der RABT hinsichtlich des Einsatzes eines RETISS-Systems
- Integration des RETISS-Systems in bestehende Leitstellentechnik
- Datenschutzrechtliche Belange durch Speicherung personenbezogener Daten beim Einsatz videobasierter Detektionstechnologien

Nachfolgend sind die Ergebnisse des Workshops nach Diskussionsthemen geordnet beschrieben:

5.1 Einsatz des RETISS-Systems in die Praxis von Verkehrs-bzw. Tunnelleitzentralen

Die Teilnehmer diskutierten zunächst, wie und in welcher Form das RETISS-System in die Arbeit von Tunnel- bzw. Verkehrsleitzentralen integriert werden kann. Dabei ist zu unterscheiden zwischen den beiden Komponenten bzw. Teilvorhaben des RETISS-Projekts, namentlich der Infrarotdetektion überhitzter Fahrzeugteile (vgl. Kapitel 2.1) sowie der Gefährdungsanalyse und Risikobewertung (vgl. Kapitel 2.2).

Hinsichtlich des Systems zur Infrarotdetektion wurde diskutiert, wie beispielsweise bei Detektion einer Überhitzung eine Alarmmeldung erfolgen soll. Das RETISS-System ermöglicht durch die Anordnung des Infrarotsystems vor dem Tunnel Rennsteig eine punktuelle Erkennung der Temperaturen vor dem Tunnel, d.h. der Verlauf/die Entwicklung einer Überhitzung ist nicht detektierbar. Diskutiert wurde in diesem Zusammenhang beispielsweise eine Reihung von Infrarotsystemen in vorab definierten Abschnitten vor und im Tunnel, die durch die Generierung einer höheren Datendichte präzisere Aussagen über einen potentiellen Risikoanstieg für die vordefinierten Initialereignisse erlaubt.

Aktuelle Möglichkeiten zur Detektion von Bränden oder anderen Ereignissen erfolgen bisher reaktiv, d.h. diese werden bisher durch das Brandmeldekabel, die Sichttrübungsmessung oder die statische Videoüberwachung erst dann detektiert, wenn das Ereignis bereits

eingetreten ist. Die zu ergreifenden Maßnahmen im Ereignisfall wirken in diesem Falle nur noch ausmaßmindernd. Oftmals bleibt nur die Tunnelsperrung und weitere nach den AGAP vorgeschriebene Maßnahmen zur Reaktion auf ein bereits eingetretenes Ereignis. Auch andere Ereignisse wie *Falschfahrer* oder *Liegenbleiber* werden ohne automatische Detektion oft nur schwer und zu spät erkannt.

Bezüglich der Verwendung der Informationen aus der Online-Risikoanalyse im Realeinsatz stellt sich die Frage, wie mit der entsprechenden Information, dass ein Risiko für das Eintreten eines bestimmten Initialereignisses erhöht ist, seitens der Operatoren umgegangen werden kann. Die bloße Information, dass sich ein Risiko für einen Brand beispielsweise durch ein überhitztes Fahrzeug erhöht, stellt die Operatoren vor die Frage, welche präventiven Maßnahmen zu ergreifen sind. Die Ausleitung eines betreffenden Fahrzeugs ist dabei meist aus praktischen, organisatorischen oder rechtlichen Gründen nicht möglich. So bedarf es insbesondere der Zusammenarbeit mit der Polizei, die von Rechts wegen befugt ist, Fahrzeuge auszuleiten. Eine weitere diskutierte Möglichkeit war das Anzeigen des Nummernschilds über eine WVZ-Brücke. Problematisch hierbei ist das Verhalten des Fahrzeugführers, der den Warnhinweis möglicherweise übersieht oder ignoriert. Eine andere Schwierigkeit betrifft datenschutzrechtliche Bedenken hinsichtlich der Erfassung von Nummernschildern oder anderen Informationen über das Fahrzeug (Videobilder), die das Recht auf informationelle Selbstbestimmung betreffen (siehe hierzu auch Kapitel 4.7).

5.2 Fragen der Parametrierung des RETISS-Systems (Infrarotdetektion und Online Risikoanalyse)

Im gleichen Kontext wurden zudem Fragen der Parametrierung diskutiert. Wann gilt beispielsweise eine überhitzte Komponente eines detektierten Fahrzeugs (Bremsen, Motor, Turbolader, etc.) bereits als Risikofaktor? Das Setzen von entsprechenden Schwellenwerten stellt eine enorme Herausforderung für die Entwickler dar, zumal es hierfür keine genormten Angaben der Hersteller gibt, wann bspw. eine Bremsenkomponente einen kritischen Wert erreicht. Die Entwicklung einer Musterdatenbank von Fahrzeugen, die auf empirische, d.h. tatsächliche (Grenz-)Werte zurückgreift, konnte aus Gründen der fehlenden Datenverfügbarkeit bei den Fahrzeugherstellern im Projekt selbst nicht umgesetzt werden.

Auch die Parametrierung der Schwellenwerte im Teil der Online-Risikoanalyse stellt eine enorme Herausforderung dar. Hierbei werden die Daten aus den verschiedenen Detektionssystemen zusammengeführt und plausibilisiert. Wann genau das System ein erhöhtes Risiko für ein bestimmtes Initialereignis anzeigt, ist dabei von mehreren Variablen abhängig, die zumindest in einem automatisierten System wie in RETISS für den Operator nicht immer nachvollziehbar sind. Auch hier ist die Setzung der Schwellenwerte eine komplexe Aufgabe, die für jedes einzelne Bauwerk an die besonderen Charakteristiken (Länge, DTV, etc.) angepasst werden muss. Nicht jedes detektierte Risiko darf beispielsweise zur Tunnelsperrung führen. Nach Einschätzung der teilnehmenden Experten müssten die verwendeten Schwellenwerte daher gezielt auf die praktischen Anforderungen der

Operatoren angepasst werden und können nur durch den Realeinsatz des Systems feinjustiert werden.

5.3 Automatisierungsaspekte bei der Maßnahmenschaltung und rechtliche Hürden

Wenn das System ein erhöhtes Risiko bspw. durch die Alarmmeldung eines überhitzten Fahrzeugs detektiert, stellt sich anschließend die Frage, welche präventiven Maßnahmen generell möglich und praktikabel sind. Von den Projektpartnern wurden Maßnahmen wie *Tunnelsperrung*, *Netzsteuerung*, *Einzelausleitung*, aber auch organisatorische oder betriebliche Maßnahmen wie *Rettungsdienste frühzeitig informieren* oder *Belüftung* oder *Beleuchtung hochfahren* diskutiert. Einige dieser präventiven bzw. ausmaßmindernden Maßnahmen sind aus diversen Gründen in der Praxis oft nicht oder nur mit erheblichen Folgewirkungen umsetzbar. Dies betrifft zum Beispiel die Maßnahme *Tunnelsperrung*, die enorme Auswirkungen auf den nachfolgenden Verkehr haben kann. In dicht besiedelten Bundesländern wie Nordrhein-Westfalen mit stark verkehrsbelasteten Bauwerken ist diese Maßnahme tatsächlich nur im äußersten Notfall sinnvoll. Ähnlich verhält es sich mit der Maßnahme *Fahrzeugausleitung* (Einzel- bzw. Klassenausleitung). Wie bereits oben beschrieben, bestehen hierfür insbesondere praktische und rechtliche Hürden. Der Operator kann bspw. bei einer Gefahrensituation kein Fahrzeug automatisch (bspw. über Anzeige des Nummernschildes per WVZ) ausleiten. Nach Auffassung der Workshop-Teilnehmer ist die Fahrzeugausleitung aus dem fließenden Verkehr heraus vor allem aus organisatorischen Gesichtspunkten sehr kompliziert, da hierfür zumindest eine Ausleitungsmöglichkeit wie zum Beispiel eine Abfahrt oder ein Parkplatz vorhanden sein muss, um den nachfolgenden Verkehr nicht zu gefährden.

Ein anderer Diskussionsschwerpunkt betraf den Aspekt der *Automatisierung* bzw. des *Automatisierungsgrades* von Expertensystemen wie RETISS. Zentrale Fragestellung hierbei war, ob Maßnahmen zukünftig automatisch durchgeführt werden sollten, sobald ein bestimmtes Risiko oder ein tatsächliches Ereignis eintritt, oder, wie momentan der Fall, manuell durch den Operator. Eine wichtige Bedingung für eine weiter fortschreitende Automatisierung ist dabei vor allem die Reduzierung von Fehlerraten im Allgemeinen, die bei Einführung neuer technischer Systeme auftreten. Wird beispielsweise eine Maßnahme (wie die *Tunnelsperrung*) automatisch aufgrund eines erhöhten Risikos eines Initialereignisses oder auch durch einen technischen Defekt ausgelöst, kann dies zu erheblichen Konsequenzen für den nachfolgenden Verkehr führen. Damit zusammenhängend ergibt sich eine strafrechtliche Problematik, die auch für teilautomatisierte Systeme zutrifft. Wenn automatische Maßnahmen fehlgeschaltet werden und hieraus Sach- oder Personenschäden entstehen, ist die strafrechtliche Verantwortung zu klären. Bei Expertensystemen, die lediglich Maßnahmenempfehlungen für Handlungen des Operators geben, wird diese Problematik noch deutlicher. Führt der Operator auf Empfehlung des Systems eine Maßnahme aus, die Sach- und Personenschäden zur Folge hat, stellt sich die Frage, ob der Operator oder sogar der Entwickler des Systems die strafrechtliche Verantwortung hierfür zu tragen hat.

5.4 Geeignete Infrastrukturbauwerke zum Einsatz des RETISS-Systems

Weiterhin wurden Anwendungsmöglichkeiten zur Implementierung des RETISS-Systems diskutiert. Unter den Teilnehmern bestand Einigkeit darin, dass sich nicht jedes Bauwerk für den Einsatz eines RETISS-Systems empfiehlt und der Einsatz nur bei *kritischen* Bauwerken mit entsprechenden Rahmenbedingungen sinnvoll ist. Der Einsatz eines RETISS-Systems sollte hierbei insbesondere an Kosten-Nutzen-Erwägungen geknüpft werden und zur maßgeblichen Reduzierung von Risiko- und Schadenspotential des ausgewählten Bauwerks führen. Die Teilnehmer diskutierten diese Thematik im Hinblick auf Tunnel in ihrer eigenen Zuständigkeit. Allgemein wurde darauf hingewiesen, dass Bauwerke bestimmte Charakteristiken (wie sie beispielsweise auch in der RABT als Sicherheitsparameter definiert sind) aufweisen sollten, bevor der Einsatz eines RETISS-Systems in Erwägung gezogen werden kann. Mögliche besondere Charakteristiken, die hierbei erfüllt sein müssen, sind beispielsweise die Länge des entsprechenden Bauwerks und die Höhe des DTV. Nicht immer sind dies aber auch notwendige Bedingungen für den Einsatz eines RETISS-Systems. Auch für Bauwerke mit geringerer Länge und mit geringerer DTV kann ein RETISS-System sinnvoll eingesetzt werden, wenn beispielsweise wichtige Versorgungsleitungen unter oder über dem Bauwerk verlegt wurden, was bei einem Brand zu erheblichen Folgewirkungen führen kann. Auch für Bauwerke, die auf einem Straßenkorridor mit wenigen oder keinen Alternativrouten liegen, kann ein RETISS-System durch die erheblichen volkswirtschaftlichen Folgekosten bei entsprechender Nicht-Verfügbarkeit dieses Bauwerks kostenwirksam sein und risikomindernd wirken. Die genauen Kriterien für den Einsatz müssten jedoch klar definiert und im Regelwerk beschrieben sein.

5.5 RETISS als kompensatorische Maßnahme sowie die Fortschreibung der RABT hinsichtlich des Einsatzes eines RETISS-Systems

Im gleichen Zusammenhang wurde diskutiert, ob das RETISS-System auch als kompensatorische Maßnahme eingesetzt werden kann, um etwa kostenintensivere bautechnische Nachrüstmaßnahmen (zum Beispiel Nachrüstung eines Rettungstollens) zu ersetzen bzw. kompensieren. Hierfür müsste in einer detaillierten Risikoanalyse nach RABT jedoch die tatsächliche Wirksamkeit des RETISS-Systems als Maßnahme nachgewiesen werden, insofern für den betrachteten Tunnel ein oder mehrere Sicherheitsparameter auffällig ist/sind.

Theoretisch wäre der Einsatz eines RETISS-Systems, insofern die Wirksamkeit mittels einer Risikoanalyse nachweisbar ist, bereits nach bestehender RABT 2006 möglich. Für die Fortschreibung der RABT wäre es darüber hinaus sinnvoll, eine „Öffnungsklausel“ vorzusehen, die zumindest den Einsatz eines RETISS-Systems oder eines ähnlichen Systems vorsieht und entsprechende Hinweise zu den Voraussetzungen des Einsatzes benennt.

5.6 Integration des RETISS-Systems in bestehende Leitstellentechnik

Weiterhin wurde die Frage diskutiert, inwiefern das RETISS-System in bereits bestehende Systeme integriert werden kann oder soll. Dies betrifft vor allem die Integration in das

Prozessleitsystem. Denkbar und technisch möglich sind zwei Varianten: a) eine „Stand-alone-Lösung“, die zur Entscheidungsfindung zusätzlich konsultiert werden kann, oder b) eine vollständige Integration in das Prozessleitsystem.

Bei Bevorzugung der zweiten Variante wäre zu klären, welches System als Master-System (letzte Instanz) genutzt wird, was zuletzt nur durch die Definition eines wünschenswerten Automatisierungsgrades erzielt werden kann. In diesem Falle müsste die Frage geklärt werden, ob auch Handlungen bzw. Maßnahmen automatisch von dem System ergriffen werden sollen (Beispiel automatische Bauwerkssperrung).

5.7 Datenschutzrechtliche Belange durch Speicherung personenbezogener Daten beim Einsatz videobasierter Detektionstechnologien

Neben der technischen Machbarkeit der Implementierung eines RETISS-Systems ist zusätzlich auch eine datenschutzrechtliche Problematik aufzuzeigen. Insbesondere durch die Aufzeichnung der Videobilder im Zusammenhang mit der Infrarotdetektion ist die Erhebung personenbezogener Daten zumindest theoretisch möglich. Im Falle einer positiven Detektion (d.h. ein definierter Schwellenwert wird überschritten) würde das Infrarotbild zusammen mit dem Videobild in der Historie hinterlegt und je nach Verkehrsfluss für eine bestimmte Dauer im Zwischenspeicher belassen, bevor der Eintrag automatisch gelöscht wird. Zwar werden von den Kameras keine Nummernschilder erkannt, dennoch ist ein indirekter Bezug der Personenbezogenheit durch beispielsweise Aufschriften auf aufgenommenen Lkw möglich.

Nach Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) § 6 ist die Erhebung personenbezogener Daten zu Forschungszwecken durch eine private Stelle unproblematisch. Der Realeinsatz des Systems durch eine öffentliche Stelle wäre nach bestehender Gesetzeslage hinsichtlich datenschutzrechtlicher Aspekte im Detail zu prüfen.

Der Einsatz von Videodetektionssystemen stellt jedoch generell eine Herausforderung für den Datenschutz dar. Die Teilnehmer des Workshops berichteten in diesem Zusammenhang auch von ihren eigenen Erfahrungen. So dürfen beispielsweise in Baden-Württemberg keine Kennzeichen oder andere personenbezogene Daten erfasst werden. In Bayern ist die Erfassung von Aufschriften erlaubt, jedoch wird die Kennzeichenerfassung ausgeschlossen. In Sachsen ist die Speicherung von Videobildern durch Webcams erlaubt, insofern sie zur Erfüllung der hoheitlichen Aufgaben notwendig ist.

Generell ist jedoch eine einheitliche, möglichst bundesweite, Regelung für den Einsatz von videobasierten Detektionssystemen notwendig, um allgemeine Rechtssicherheit zu gewährleisten. Im Rahmen von RETISS, das datenschutzrechtlich begleitet wurde, wurde ein entsprechender Antrag an das Thüringische Verkehrsministerium zur Klärung des Sachverhalts gestellt.

6. Fazit

Das RETISS-System als präventive Maßnahme kann das Schadensausmaß bei schweren Unfällen, Brandereignissen und anderen sicherheitsrelevanten Ereignissen reduzieren und teilweise durch frühzeitige Detektion (Bsp. Infrarotdetektion im fließenden Verkehr) die Entstehung des Ereignisses sogar verhindern. Insbesondere die von RETISS entwickelte Echtzeit-Gefährdungsanalyse ermöglicht einen größeren Handlungsspielraum und bessere Reaktionszeiten für das zuständige Überwachungspersonal von Verkehrs- bzw. Tunnelleitzentralen. Einzelmaßnahmen können somit schneller eingeleitet werden. Die Datenfusion erlaubt außerdem eine genauere Detektion von Ereignissen und Notfällen.

Durch den steigenden Verkehr in Deutschland und anderen europäischen Staaten ist davon auszugehen, dass die Anzahl der zu überwachenden Straßeninfrastrukturbauwerke immer weiter steigen wird. Durch neue technische Mittel, die bei dieser Überwachung zum Einsatz kommen, steigt aber auch die Komplexität der Überwachung. Durch eine Fusion von zahlreichen Informationen, die in Echtzeit zusammengeführt werden, unterstützt das RETISS-System Operatoren von Verkehrsleitzentralen bei der Bewältigung ihrer Aufgaben maßgeblich.

Für Infrastrukturbauwerke mit besonderen Charakteristiken kann unter Hinzuziehung der entsprechenden Maßnahmenanalyse die Implementierung eines RETISS-Systems bereits heute zur frühzeitigen Detektion von risikoinduzierenden Faktoren und damit zu einem höheren Schutzniveau des entsprechenden Bauwerks und deren Nutzer führen. Die Wirksamkeit des RETISS-Systems ist dabei durch entsprechende Risikoanalysen im Einzelfall nachzuweisen.

Bei Tunnelbauwerken liegen dank der Regelungen der RABT entsprechende Richtlinien zum Einsatz innovativer Technik vor, sodass das RETISS-System bereits heute zum Beispiel bei bestehenden Tunneln als kompensatorische Maßnahme eingesetzt werden könnte bspw. wenn aufgrund geologischer oder bautechnischer Beschränkungen eine nach der RABT erforderliche Nachrüstmaßnahme nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand und Kostenumgesetzt werden kann. Ein Beispiel hierfür ist die Nachrüstung von Notausgängen, Flucht- und Rettungswegen (gemäß Abschnitt 6.1.3 der RABT). Hier kann der Einsatz eines RETISS-Systems als präventive Maßnahme die Wahrscheinlichkeit eines Unfalls oder eines Brandes im Tunnel maßgeblich reduzieren und als kompensatorische Maßnahme für eine bautechnische Nachrüstung implementiert werden.

Nichtsdestotrotz ist zu beachten, dass bei einem Einsatz des RETISS-Systems selbst örtliche und verkehrliche Grundvoraussetzungen gegeben sein müssen. Beispielsweise muss bei der Implementierung eines präventiven Systems die Möglichkeit einer Ausleitung von detektierten Fahrzeugen mit überhitzten Bremsen gegeben sein. Dies kann bspw. vor einem Tunnel eine reguläre Ausfahrt oder aber eine zusätzliche Ausfahrt sein, die die reibungslose

Ausleitung auch von Schwerlasttransporten erlaubt ohne den nachfolgenden Verkehr zu gefährden.

Mittelfristiges Ziel sollte jedoch sein, die entsprechenden Regelwerke hinsichtlich eines Einsatzes des RETISS-Systems fortzuschreiben. Denkbar wäre etwa, besonders kritische Infrastrukturbauwerke mit einem solchen System auszustatten, insofern seine Wirksamkeit durch eine entsprechende Risikoanalyse nachgewiesen werden kann.

Potentielle Kunden für den Einsatz eines RETISS-Systems sind neben den öffentlichen Straßenverwaltungen auch private Betreiber von PPP-Infrastrukturen oder Privatfirmen, die für den Betrieb ganzer Straßennetze verantwortlich sind (z.B. ASFINAG in Österreich oder AUTOSTRADE in Italien).

Das Projekt RETISS endete im November 2013. Die Erprobung des Systems läuft auch noch über Projektende zur weiteren Optimierung hinaus.

7. Literaturangaben

Kaundinya, Ingo/Mayer, Georg/Rothenpieler, Samuel (2013): Security of Road Transport Networks – Identifying and Assessing Critical Road Infrastructure. In: Prof. Dr. Dr. Michael Lauster (Ed.): 8th Future Security Research Conference, Berlin, September 17-19, 2013, Proceedings, 167-174

RABT (2006): Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln. Forschungsgesellschaft für das Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV 339), FGSV-Verlag, Ausgabe 2006

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung/ Bundesanstalt für Straßenwesen (2009): Leitfaden für Sicherheitsbewertungen von Straßentunneln gemäß RABT 2006 (Abschnitt 0.5), 31.03.2009

SeRoN (2012): SeRoN D700 Recommendations, The SeRoN consortium, October 2012. In: <http://www.seron-project.eu/index.php?p=publications>, besucht am 18.12.2013

SKRIBT (2012): Verbundprojekt SKRIBT Schutz kritischer Brücken und Tunnel im Zuge von Straßen. Schlussbericht: Schutz kritischer Brücken und Tunnel. In: <http://134.147.230.146/skribt/download/AP5/Schutz%20kritischer%20Br%C3%BCcken%20und%20Tunnel%20-%20Schlussbericht.pdf>, besucht am 18.12.2013