

Verbundprojekt ESIMAS

Echtzeit Sicherheits-Management-System für Straßentunnel

Gesamtschlussbericht

Bundesanstalt für Straßenwesen, FKZ: 19S11004A

ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH, FKZ: 19S11004I

Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen, FKZ: 19 S 11004E

OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG, FKZ: 19S11004G

PTV Transport Consult GmbH, FKZ: 19S11004D

SPI Dresden GmbH, FKZ: 19S11004H

Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V., FKZ: 19S11004B

Technische Universität Ilmenau, Institut für Medientechnik, FKZ: 19 S11004C



Gefördert durch:

Bundeministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin

Projektträger:

TÜV Rheinland Consulting GmbH, Köln

Bearbeitet von:

Dr.-Ing. Anastassiadou, Kalliopi – Bundesanstalt für Straßenwesen

Gerlach, Simon – Bundesanstalt für Straßenwesen

Lehan, Anne – Bundesanstalt für Straßenwesen

Dr. Böhnke, Peter – ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH

Klein, Andreas – Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen

Fazekas, Adrian – Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen

Eismann, Klaus - OSMO-Anlagenbau GmbH

Siebe, Ralf – OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG

Balz, Werner – PTV Transport Consult GmbH

Fehren-Schmitz, Kai – PTV Transport Consult GmbH

Grossmann, Susanne – PTV Transport Consult GmbH

Fischer, Martin – SPI Dresden GmbH

Strehle, Volker – SPI Dresden GmbH

Piazzolla, Antonio - Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen – STUVA – e. V.

Dr.-Ing. Thienert, Christian - Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen – STUVA – e. V.

Prof. Dr. Krömker, Heidi – Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Medienproduktion - Institut für Medientechnik

Spundflasch, Sebastian – Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Medienproduktion - Institut für Medientechnik

Haftungsausschluss

Meinungen, Erkenntnisse, Schlussfolgerungen und Empfehlungen in dieser Publikation sind diejenigen der Autoren und stimmen nicht in jedem Fall mit denen der Einrichtungen oder der Unternehmen überein. Die Urheberrechte der Inhalte liegen – soweit nicht anders ausgewiesen – bei den jeweiligen Mitgliedern des ESIMAS-Konsortiums.

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	5
1.1 Allgemeines	5
1.2 Zielsetzung	5
1.3 Beschreibung eines ESIMAS	6
2 Vorgehensweise	8
3 Detektionstechnologie	10
3.1 Allgemeines	10
3.2 Erfassung überhitzter Fahrzeuge mittels Infrarot- und Lasertechnologie	10
3.3 Innovative Störfalldetektion mittels Intelligenten Induktionsschleifen und Weigh In Motion - Technologie	12
3.4 Videodetektion	13
3.5 Integration eines ESIMAS in die Leit- und Automatisierungstechnik	15
3.6 Zusammenfassung der Entwicklung von innovativen Detektionstechnologien und Integration des ESIMAS	17
4 Datenfusion und Plausibilisierung	18
4.1 Allgemeines	18
4.2 Datenbereitstellung und Plausibilisierung	18
4.2.1 Datenbereitstellung	18
4.2.2 Datenplausibilisierung	19
4.3 Datenfusion und Datenverknüpfung	19
4.4 Softwaretechnische Umsetzung und Integration in das Prozessleitsystem	20
4.4.1 Softwarearchitektur des ESIMAS-Prototypen	20
4.4.2 Integration des ESIMAS-Prototypen in das Prozessleitsystem	22
4.5 Zusammenfassung zur Datenfusion und Plausibilisierung	23
5 Sicherheitsanalyse und Risikobewertung	24
5.1 Online-Sicherheitsanalyse, Online-Risikobewertung	24
5.1.1 Online-Sicherheitsanalyse	24
5.1.2 Online-Risikobewertung	25
5.2 Visualisierung der Sicherheitslage	26
5.3 Zusammenfassung zur Sicherheitsanalyse und Risikobewertung	28
6 Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem	29
6.1 Allgemeines	29
6.2 Zusammenstellung eines Maßnahmenkatalogs	29
6.3 Expertensystem für die Auswahl von Maßnahmen und Strategien	32
6.3.1 Situationsanalyse	32
6.3.2 Maßnahmenwahl	33
6.3.3 Maßnahmenharmonisierung	33
6.4 Softwaretechnische Umsetzung & Integration des Expertensystems in das Prozessleitsystem	35
6.5 Zusammenfassung zu Maßnahmen und Handlungsempfehlungen	36

7	Demonstration	37
7.1	Allgemeines	37
7.2	Planung, Installation und Integration der Teilsysteme am Demonstrator	37
7.3	Testphase	40
7.4	Betriebsphase	42
7.5	Analyse der Betriebsphase	42
7.6	Nachnutzungskonzept	43
7.7	Empfehlungen für die Überführung des ESIMAS-Prototypen in den Regelbetrieb	43
7.8	Zusammenfassung zur Demonstration	44
8	Empfehlungen / Schlussfolgerungen	45
8.1	Allgemeines	45
8.2	Empfehlungen für die Anwendung von ESIMAS	45
8.3	Empfehlungen für Sicherheitsmaßnahmen zur Prävention und schnellen Ereignisdetektion	45
8.4	Empfehlungen zur Integration in das technische Regelwerk	46
8.4.1	Maßgebendes Regelwerk	46
8.5	Zusammenfassung der Empfehlungen und Schlussfolgerungen von ESIMAS	47
9	Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle	48
9.1	Allgemeines	48
9.2	Vorgehensweise	48
9.3	Anforderungsanalyse	49
9.4	Design, Test und Entwicklung	52
9.5	Demonstration und Evaluation der ESIMAS-Bedieneroberfläche	53
9.6	Zusammenfassung zur Entwicklung der ESIMAS-Bedieneroberfläche	54
	Gesamtzusammenfassung	56
	Ausblick	57
	Abbildungsverzeichnis	58
	Tabellenverzeichnis	59
	Literaturverzeichnis	60
	Anhang	61
	Anhang 1: Projektbericht „Arbeitspaket 1 – Detektionstechnologie“	
	Anhang 2: Projektbericht „Arbeitspaket 2 – Datenfusion und Plausibilisierung“	
	Anhang 3: Projektbericht „Arbeitspaket 3 – Sicherheitsanalyse und Risikobewertung“	
	Anhang 4: Projektbericht „Arbeitspaket 4 – Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem“	
	Anhang 5: Projektbericht „Arbeitspaket 5 – Demonstration“	
	Anhang 6: Projektbericht „Arbeitspaket 6 – Empfehlungen/Schlussfolgerungen“	
	Anhang 7: Projektbericht „Arbeitspaket 7 – Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“	

Einleitung

1.1 Allgemeines

Leistungsfähige und sichere Verkehrsinfrastrukturen sind für die Gewährleistung der Mobilität und Versorgung der Bevölkerung unverzichtbar. Straßentunnel haben hierbei eine besondere Bedeutung, da im Vergleich zur freien Strecke schon kleinere Ereignisse wie z. B. ein wegen überhitzter Fahrzeugteile liegengebliebenes Fahrzeug große Auswirkungen bis hin zu verheerenden Brandkatastrophen nach sich ziehen können. Gleichzeitig können solche Ereignisse hohe wirtschaftliche bzw. volkswirtschaftliche Folgen nach sich ziehen. Da Straßentunnel im Straßennetz nicht selten einen „Flaschenhalseffekt“ aufweisen, kann ein längerfristiger Ausfall erhebliche Verkehrsumlageeffekte verursachen, einhergehend mit hohen Reisezeitverlusten bzw. Mobilitätsverlusten der Verkehrsteilnehmer. Vor diesem Hintergrund stellt die Verbesserung der Sicherheit in Straßentunneln auch weiterhin eine besondere Herausforderung dar.

Durch die Verlagerung des Straßenverkehrs unter die Erde z.B. zum Schutz der Umwelt werden die Anzahl und auch die Länge der Straßentunnel national und international weiter deutlich zunehmen. Um im Falle eines Ereignisses schnell reagieren zu können, werden in Deutschland Straßentunnel über 400 m Länge permanent überwacht. Die Überwachung erfolgt zunehmend zentral in übergeordneten Tunnelleitzentralen, die rund um die Uhr durch Betriebspersonal (sogenannte Operatoren) im Schichtdienst besetzt sind. Zukünftig müssen Tunnelleitzentralen mehr Straßentunnel überwachen als bisher. Bedingt durch die weiter steigende Zahl an Straßentunneln kommt auf die Leitzentralen eine entsprechende Zunahme der Aufgaben im Zuge ihrer Überwachungstätigkeit zu, in Verbindung mit einer entsprechend ansteigenden Arbeitsbelastung der Operatoren.

Die im Tunnel vorhandenen technischen Einrichtungen ermöglichen eine weitreichende Überwachung der Infrastruktur und Beeinflussung des Verkehrs und weiterer Betriebsparameter sowohl im Regelbetrieb als auch im Ereignisfall. Dies erfolgt mit Hilfe einer Vielzahl installierter Sensoren und Detektoren, welche auf ihren jeweiligen begrenzten Überwachungsbereich entsprechende Einzelmeldungen abgeben. Eine ganzheitliche Betrachtung der eingehenden Informationen findet aktuell nicht statt. Zur Fusionierung, Plausibilisierung und Interpretation dieser bereitgestellten Informationen und hieraus abgeleiteter präventiver und ausmaßmindernder Handlungsempfehlungen und deren Visualisierung kommt zukünftig Expertensystemen zur Unterstützung der Operatoren eine hohe Bedeutung zu. Durch Expertensysteme kann auch bei der zukünftigen weiteren Konzentration der Tunnelüberwachung in übergeordneten Leitzentralen ein hohes Sicherheitsniveau in Straßentunneln gewährleistet werden.

1.2 Zielsetzung

Gesamtziel des Verbundprojekts „ESIMAS – Echtzeit-Sicherheits-Management-System für Straßentunnel“ war die Entwicklung und die Demonstration eines flexiblen, modularen und innovativen Expertensystems, welches durch den Einsatz neuer und durch die Weiterentwicklung vorhandener Detektionssysteme qualitativ hochwertige Daten für eine online erfolgende Sicherheitsanalyse und Risikobewertung bereitstellt und hieraus ebenfalls online Maßnahmen- und Handlungsempfehlungen für die Operatoren zur Verfügung stellt.

Kernstück von ESIMAS bilden neu entwickelte Datenfusions- und Risikobewertungswerkzeuge, mit deren Hilfe die sicherheitsrelevanten Daten von verschiedenen Detektionssystemen zusammengeführt und online analysiert, plausibilisiert und bewertet werden können. Auf dieser Grundlage können kritische Situationen (z. B. Unfall oder Brand im Tunnel) zuverlässig und rechtzeitig erkannt werden. Sicherheitsrelevante Informationen werden dann priorisiert und in der Tunnelleitzentrale in einer eigens entwickelten prototypischen Benutzeroberfläche visualisiert.

Das Funktionsprinzip und die Zusammenhänge der einzelnen Systemkomponenten sind in Abbildung 1 dargestellt. Mit Hilfe von ESIMAS können die Verantwortlichen in der Tunnelleitzentrale geeignete präventive Maßnahmen (z. B. Geschwindigkeitsreduzierung, Sperrung des Tunnels,

Verkehrsumleitung auf andere Strecken) treffen, um die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer im Straßentunnel in Abhängigkeit des Verkehrszustandes zu gewährleisten.

Auf Grundlage der Informationen und Handlungsempfehlungen, die von ESIMAS zur Verfügung gestellt werden, können im Falle von Ereignissen auch die Einsatzdienste die notwendigen Maßnahmen zur Minimierung des Schadensausmaßes gezielt und sehr frühzeitig treffen.

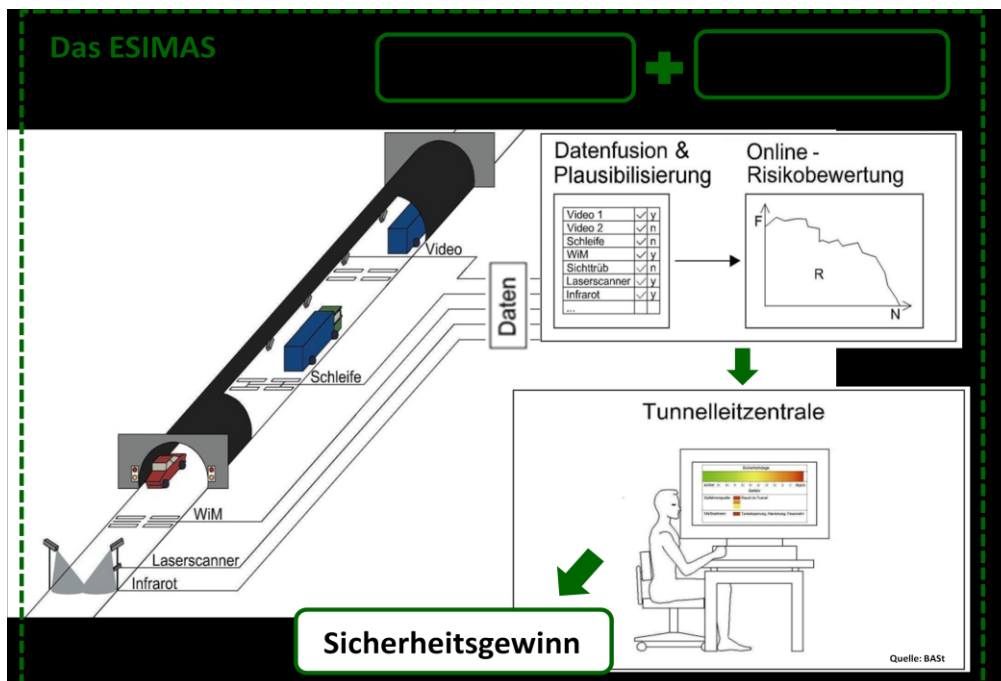


Abbildung 1: Funktionsprinzip von ESIMAS.

1.3 Beschreibung eines ESIMAS

ESIMAS stellt eine Ergänzung zu den bisher vorhandenen Systemen in der Leit- und Automatisierungstechnik dar. Kernbestandteil des Systems ist eine Online-Risikobewertung mit einem darauf aufbauenden Expertensystem.

Als Entscheidungsgrundlage zur Risikobewertung dienen die Daten der zur Überwachung von Straßentunneln verfügbaren Detektionssysteme. Geeignet sind hierfür sowohl die standardmäßig nach den RABT Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. eingesetzten, als auch neuartige oder weiterentwickelte Detektionssysteme, die bisher nicht vom technischen Regelwerk behandelt werden. Der Detektionsumfang kann flexibel für jeden Tunnel separat festgelegt werden. Auch besteht die Möglichkeit zu einem schrittweisen Ausbau im Rahmen der Nachrüstung von Tunneln über die Integration zusätzlicher Detektionssysteme. In diesem Fall ist auch ESIMAS zu erweitern bzw. zu aktualisieren.

Abhängig vom Ausstattungsumfang der vorhandenen Tunnel und der Zielsetzung bei der Tunnelüberwachung sind die in ESIMAS zu integrierenden Subsysteme vom Betreiber auszuwählen und in der weiteren Konfiguration zu berücksichtigen.

Abbildung 2 stellt eine Übersicht eines ESIMAS und den grundlegenden Datenfluss dar.

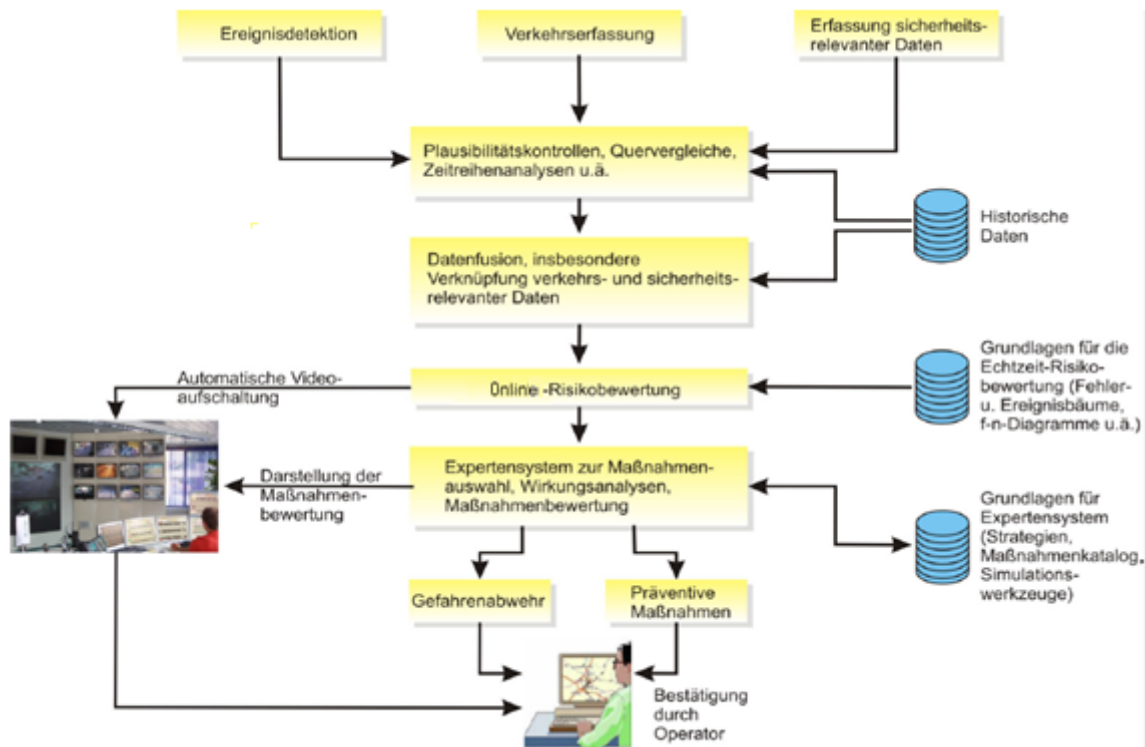


Abbildung 2: Systemübersicht und Datenfluss.

ESIMAS verbessert zunächst die Ereignisdetektion durch eine Plausibilisierung und Fusion von Sensordaten, wodurch auch Fehlalarme reduziert werden können. Für eine schnellere Diagnose wird den Operatoren eine auf ihren Informationsbedarf in Ereignis- und Risikosituationen zugeschnittene Benutzerschnittstelle zur Verfügung gestellt, über die sie schnellen Zugriff auf aufgabenspezifische und handlungsrelevante Informationen erhalten. Die auf den Workflow angepasste Funktionalität des Systems und die nutzerbezogene, auf einfache Erfassbarkeit ausgelegte Visualisierung der Informationen ermöglichen eine schnelle und zielführende Situationseinschätzung der Operatoren. Dies umfasst insbesondere eine Darstellung der aktuellen Sicherheits- bzw. Gefährdungslage durch eine Online-Sicherheitsbewertung.

Insgesamt führt dies zu

- einer Senkung der kognitiven Beanspruchung der Operatoren und
- einer Verkürzung der Reaktionszeit des Operators und damit zu einer früheren Einleitung der Selbstrettungsphase.

Eine teilautomatisierte Anzeige geeigneter präventiver und reaktiver Handlungsempfehlungen basierend auf einem integrierten Expertensystem kann die Operatoren darüber hinaus bei der Auswahl einer geeigneten Eingriffsstrategie unterstützen.

Der Einsatz eines ESIMAS bietet sich grundsätzlich insbesondere in größeren Tunnelleitzentralen an, wo zahlreiche Tunnel und/oder Tunnel mit hohem (Personal-)Aufwand überwacht werden müssen. Vorteilhaft ist ein Einsatz darüber hinaus in den folgenden Fällen:

- zur Kompensation vorhandener Risiken (Vorliegen einer „besonderen Charakteristik“ nach Kap. 0.5 der RABT 2006 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**),
- bei vorhandenen Tunneln, die häufig verkehrlich überlastet sind (überwachungsintensive Tunnel, häufige Ereignisse/Störfälle),
- bei bekannten Unfallschwerpunkten und
- bei einem hohen Gefahrgutaufkommen.

2 Vorgehensweise

Die Bearbeitung des Projektes ESIMAS wurde in aufeinander aufbauende Arbeitspakete (AP) strukturiert, die im Überblick in Abbildung 3 dargestellt sind. In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der einzelnen APs zusammengefasst. In Anhang befinden sich die Berichte der einzelnen Arbeitspakete 1 – 7 in denen alle durchgeführten Arbeitsschritte ausführlich beschrieben sind.

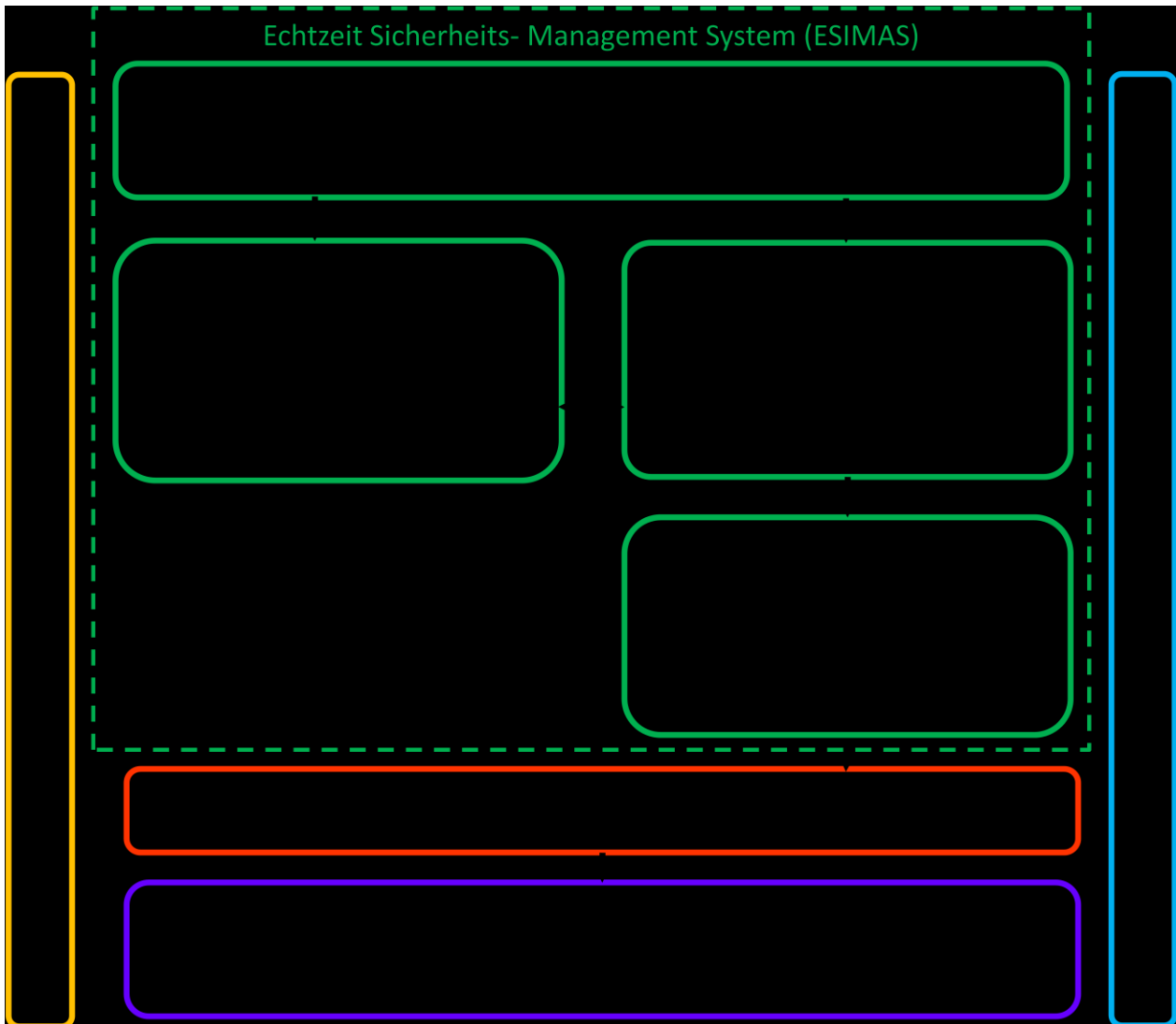


Abbildung 3: ESIMAS Arbeitsstruktur.

AP 1 „Detektionstechnologie“ beinhaltet die Entwicklung spezieller Detektionssoftware für innovative und bestehende Sensoren. Hierbei ging es vor allem um die Anpassung und Weiterentwicklung neuartiger Detektionssystemen für die Ereigniserkennung. Hierzu zählten Infrarot- und Lasertechnologie zur Erfassung überhitzter Fahrzeugteile, u.a. die Erkennung von Personen im Tunnel mittels Videodetektion sowie die Erfassung von Verkehrszuständen von Fahrzeugen durch Unterstützung von Intelligenten Induktionsschleifen und der Weigh In Motion (WIM) -Technologie.

Durch die Weiter- und Neuentwicklung der verschiedenen Detektionsverfahren wurde die Möglichkeit einer kontinuierlichen Risikobewertung in Echtzeit geschaffen. Die Ergründung der Notwendigkeit von Informationen vor dem Hintergrund der technischen Umsetzbarkeit und im Hinblick auf die Notwendigkeit für die Entscheidungsfähigkeit des Operators an die Mensch-Maschine-Schnittstelle, war ein weiterer wesentlicher Aufgabenteil dieses Arbeitspaketes.

In AP 2 „Datenfusion und Plausibilisierung“ wurden Methoden zur Datenfusion und Plausibilitätsprüfung von Daten entwickelt. Ziel war es, durch die Verknüpfung von verkehrs- und sicherheitsrelevanten Daten bzw. Informationen geeignete Kennwerte zur Bewertung des Risikos im Tunnel bereitzustellen. Wesentliche Aufgabe war die Integration der weiter und neu entwickelten Detektionstechnologien in die Leittechnik eines Tunnels, so dass deren Daten und Meldungen, Parameterwerte und Befehle für weitere Prozesse bereitstehen. Hierzu wurden objektgruppenbezogen entsprechende Datenpunktlisten generiert.

In AP 3 „Sicherheitsanalyse und Risikobewertung“ wurden aufbauend auf den erfassten und fusionierten Daten des AP 2 Methoden zur Erfassung und Darstellung der Sicherheitslage im Tunnel in Echtzeit entwickelt und umgesetzt. Ziel dieser Methoden war es, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kennwerte, Angaben über die Eintrittswahrscheinlichkeit von bestimmten Initialereignissen (z.B. Panne, Unfall, Brand etc.) zu erhalten. Weiterhin wurde in Abstimmung mit AP 7 eine grafische Darstellung der Sicherheitslage entwickelt.

In AP 4 „Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem“ wurde eine Methodik für ein Expertensystem zur Auswahl von Maßnahmen und Strategien entwickelt, mit dessen Hilfe aus einem in ESIMAS entwickelten Maßnahmenkatalog, rechnergestützt geeignete präventive bzw. reaktive Maßnahmen/Strategien zur Reduzierung des Gesamtrisikos im betrachteten Tunnel ausgewählt und den Operatoren zur Entscheidungsunterstützung zur Verfügung gestellt werden. Bei den vorgeschlagenen harmonisierten Maßnahmen handelt es sich um Kombinationen aus im Vorfeld definierten Maßnahmenpaketen, die entweder präventiv (zur Vermeidung von Ereignissen) oder reaktiv (nach dem Eintritt von Ereignissen zur Reduzierung der Auswirkungen) wirken.

In AP 5 „Demonstration“ erfolgte die Integration des ESIMAS-Prototyps in die Betriebsleittechnik der Lärmschutzeinhausung Goldbach-Hörsbach (EGH) auf der BAB A3 in Nordbayern. Die entwickelten Teilsysteme aus Methoden, Verfahren und Systemkomponenten, wurden im Demonstrator in Betrieb genommen, testweise betrieben und optimiert. Hierzu wurden ein WIM-Sensor und Doppelinduktionsschleifen in die Fahrbahn der EGH in Fahrtrichtung Frankfurt eingebaut. Infrarotkameras, optische Kameras und ein Lasermesssystem zur Erkennung von Fahrzeugsilhouetten wurden an einer Wechselverkehrszeichenbrücke vor der EGH installiert, um insbesondere Fahrzeuge mit überhitzten Komponenten im fließenden Verkehr zu detektieren. Des Weiteren erfolgte die Installation des Servers für die Videodetektion im Betriebsgebäude der EGH. Der entwickelte ESIMAS-Prototyp wurde auf einer eigenen Benutzeroberfläche in der Verkehrs- und Betriebszentrale Nordbayern (VBZ Nordbayern) in Nürnberg-Fischbach visualisiert und von dem Betriebspersonal testweise betrieben.

Im AP 6 „Empfehlungen/Schlussfolgerungen“ wurden auf Basis der Projektergebnisse konkrete Empfehlungen zum Einsatz des ESIMAS für die Bauwerkseigentümer und Betreiber sowie für die Anpassung von Richtlinien und Normen ausgearbeitet. Hierzu wurden insbesondere die Erkenntnisse aus der praktischen Erprobung am Demonstrator herangezogen und als Empfehlungen/Schlussfolgerungen für spätere Anwendungen in Tunneln zusammengefasst. Die Formulierung von endgültigen Empfehlungen auf Grundlage der Projektergebnisse wurde in einem Leitfaden für Betreiber vorgenommen.

AP 7 „Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ beinhaltet die Anforderungsanalyse, die Konzeption, die prototypische Entwicklung und Evaluation der Mensch-Maschine-Schnittstelle von ESIMAS sowie die Integration in das Arbeitssystem. Hierzu erfolgte die Analyse von 12 verschiedenen Tunnelleit- und Überwachungszentralen sowie die Durchführung von 2 Workshops mit Experten aus dem Bereich der Tunnelüberwachung. Ziel war die Überwachung, Steuerung und Kontrolle des Tunnelgeschehens mit einem Höchstmaß an Effizienz und Sicherheit durch entsprechende Gestaltung der Benutzeroberfläche zu ermöglichen.

3 Detektionstechnologie

3.1 Allgemeines

Das folgende Kapitel beschreibt die im Rahmen des AP 1 „Detektionstechnologie“ entwickelten innovativen Detektionssysteme von ESIMAS. Hierzu wurden verschiedene automatische Verkehrs-/Ereignis-Erfassungssysteme (Sensoren) angepasst und erforderlichenfalls neu entwickelt. Auch eine Neuentwicklung wurde im Rahmen des Forschungsvorhabens durchgeführt. Für die Entwicklung eines Expertensystems zur Unterstützung von Tunneloperatoren bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen zu Gefährdungsminimierung im Ereignisfall war es zunächst notwendig, sämtliche, das Risiko im Tunnel risikobeeinflussende Daten zu erfassen, zu sammeln, und über definierte Schnittstellen dem Expertensystem zur Verfügung zu stellen.

Ferner sind die vom Expertensystem ausgegebenen Daten dem Operator über die Leittechnik visuell mitzuteilen. Maßnahmen, die ggf. automatisch durch das Expertensystem ausgelöst werden sollen, sind durch entsprechende Integration in die Steuerungssoftware der Tunnelbetriebstechnik weiterzuverarbeiten. Dazu muss genau ermittelt werden, welche Daten wann dem Operator zur Verfügung gestellt werden müssen, um die richtige Entscheidung zu treffen.

Die notwendigen Daten werden unter anderem durch Einsatz geeigneter Detektionstechnologien erfasst und innerhalb der zentralen Tunnelleittechnik vorverarbeitet. Hierbei ist es zunächst wichtig, bereits im Tunnel verfügbare, das Risikopotential beeinflussende Daten in der Leittechnik sowie auf Detektorebene zu extrahieren. Hierzu zählen Informationen wie z.B. die Anzahl Fahrzeuge und deren Geschwindigkeiten, die Klassifikation von Fahrzeugen, stehende Fahrzeuge, Rauch- und Hitzeentwicklung, die über entsprechenden Schleifentechnologien, Videoerfassungssysteme oder Infrarotmesssysteme erfasst werden.

Alle Arbeitsschritte von AP 1 „Detektionstechnologie“ sind ausführlich im Bericht dieses APs beschrieben (siehe Anhang 1 [2][6]).

3.2 Erfassung überhitzter Fahrzeuge mittels Infrarot- und Lasertechnologie

Im Rahmen des Projektes ESIMAS wurde ein System zur Erfassung von überhitzten Fahrzeugen (Hotspot-Detektion) im fließenden Verkehr entwickelt. Mittels dieser Detektion kann die Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöht werden, da durch das System bedrohliche Situationen wie Fahrzeugbrände frühzeitig erkannt und durch entsprechende Reaktionen vermieden werden können. Dadurch wird ein maßgeblicher Beitrag der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer geleistet. Hierzu wurden verschiedene automatische Verkehrs-/Ereignis-Erfassungssysteme (Sensoren) angepasst und teilweise neu entwickelt. Ferner wurde die zugehörige Software für die Analyse der Sensordaten erarbeitet.

Das Detektionssystem kann sowohl als Einzellösung als auch als Ergänzung für Informationssysteme in Leitsystemen betrieben werden, wo es nützliche Informationen für Operatoren liefert. Als Einsatzort werden vor allem Infrastrukturbauwerke wie Tunnel gesehen.

Die zentralen Elemente der Hotspot-Detektion werden durch zwei Infrarotkameras sowie eine Laserscannereinheit gebildet (Abbildung 4). Diese Sensoren liefern Daten zu Fahrzeugtyp, Abmessungen, Geschwindigkeit und Oberflächentemperatur der Fahrzeuge für eine Fahrspur. Zusätzlich stehen dem Operator als weitere Informationsquelle zwei Videokameras zur Verfügung, um Detektionen der Infrarotkameras prüfen zu können. Sämtliche Daten werden von einem separaten Server verarbeitet und gespeichert.



Abbildung 4: links: Infrarot-Kameras (oben), Videokamera (unten), rechts: Laserscannereinheit über der Fahrbahn.

Fährt ein Fahrzeug durch den Messquerschnitt, wird durch die Laserscannereinheit die Fahrzeugklasse bestimmt. Gleichzeitig wird die Wärmesignatur der Fahrzeugoberfläche durch die Infrarotkameras erfasst und zur Kontrolle für die Operatoren ein Blitzfoto vom Fahrzeug durch die Videokameras angefertigt. Abhängig vom detektierten Fahrzeugtyp werden dann unterschiedliche Auswertezonen und Temperaturgrenzwerte zur Untersuchung der Wärmesignatur des Fahrzeugs verwendet. Wird eine Überschreitung der Grenzwerte festgestellt, wird das Ereignis samt zugehöriger Daten (Infrarot- und Videobilder) an das Expertensystem übermittelt und in der Leitzentrale angezeigt.

Abbildung 5 zeigt das Zusammenwirken der Sensoren des Detektionssystems.

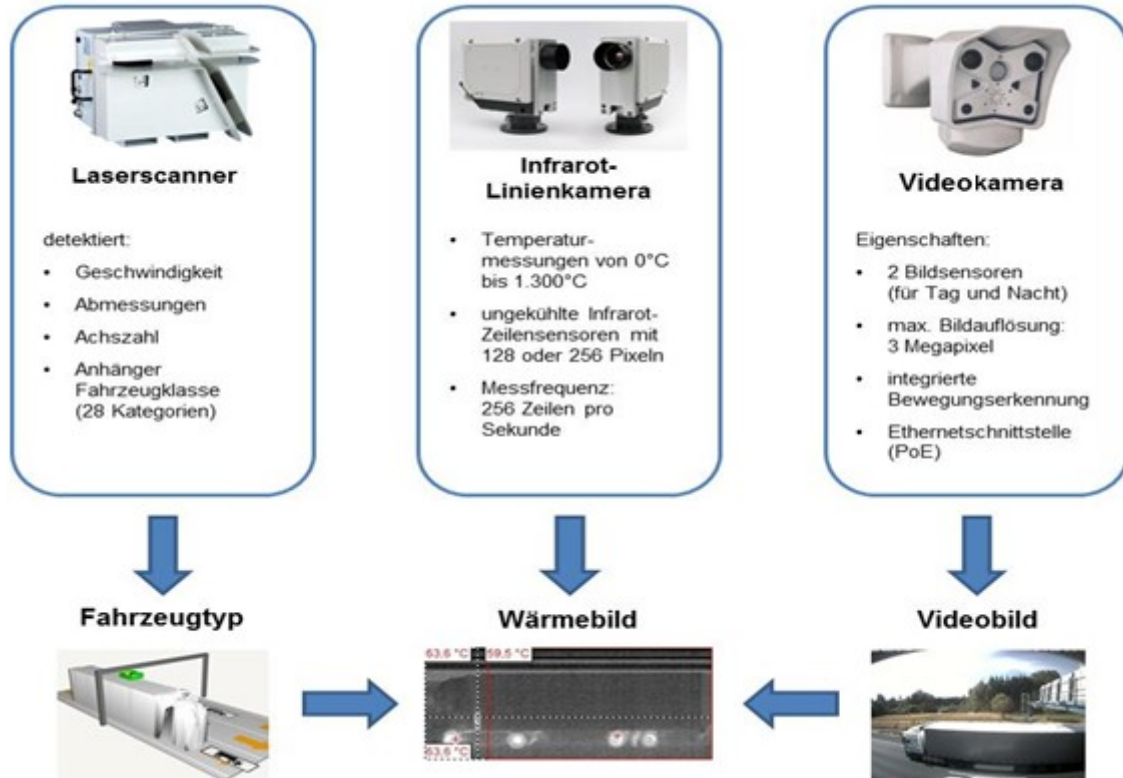


Abbildung 5: Zusammenwirken der Sensoren zur Erfassung von überhitzten Fahrzeugen.

Die besondere Herausforderung beim Einsatz der Infrarot- und optischen Sensortechnologie besteht darin, einerseits unabhängig von den Umgebungsbedingungen (z.B. Tag/Nacht, Nebel, Schneefall), andererseits bei Fahrzeugen mit bis zu 100 km/h Bewegungsgeschwindigkeit aussagekräftige Informationen generieren zu können, die durch Messungen der Oberflächentempera-

ren eine eindeutige Identifizierung von Fahrzeugtyp und der Temperaturen zulassen.

Wesentliche Arbeitsschritte waren die Weiterentwicklung dieser speziellen Detektionstechnologie und der zugehörigen Software. Die Softwareentwicklung konzentrierte sich auf die Synchronisierung der Bilder deren Konfiguration und Implementierung. Hierdurch konnten Temperaturvorgaben (Alarmwerte) für unterschiedliche Fahrzeugbereiche abgeleitet werden.

3.3 Innovative Störfalldetektion mittels Intelligenten Induktionsschleifen und Weigh In Motion -Technologie

Im Rahmen des Projektes ESIMAS wurde die Innovative Störfalldetektion mittels Intelligenten Induktionsschleifen und WIM-Technologie weiterentwickelt.

Störfälle zeichnen sich durch kleinere oder größere, ggf. auch wachsende Reisezeitverluste im jeweils aktuellen Verkehrsfluss innerhalb eines gestörten Tunnelabschnittes aus. Für eine zutreffende und rechtzeitige Störfalldetektion ist die Güte der Messung der Reisezeitverluste bezüglich Reaktionszeit und Fehlerrate von zentraler Bedeutung.

Die Innovative Störfalldetektion nutzt das Prinzip der Erfassung von streckenbezogenen Verkehrsdaten. Im zu überwachenden Tunnel werden Messquerschnitte mit der Intelligenten Induktionsschleife eingerichtet. Diese Messquerschnitte sind untereinander vernetzt. An jedem Querschnitt wird neben lokalen Verkehrsdaten auch ein „elektromagnetischer Fingerabdruck“ jedes einzelnen Fahrzeuges bestimmt. Dieser Fingerabdruck wird an den folgenden Messquerschnitten zur Wiedererkennung der Fahrzeuge verwendet. Eine Identifizierung der Fahrzeuge oder Fahrer ist auf diese Weise systembedingt nicht möglich, somit ist Datenschutz systemimmanenter Bestandteil. In den jeweiligen Messabschnitten werden so streckenbezogene Verkehrsgrößen wie die Reisezeit der Fahrzeuge, die aktuelle Verkehrssituation etc. fortlaufend in Echtzeit gemessen.

Ereignisse werden erkannt, indem die Reisezeit des einzelnen Fahrzeugs mit den gemessenen Werten des Gesamtstroms verglichen wird. Signifikante Abweichungen sind ein Indikator für entstehende bzw. bereits entstandene Ereignisse im jeweiligen Streckenabschnitt, wie z. B. liegengebliebene, langsam oder falsch fahrende Fahrzeuge. Diese Ereignisse können dann frühzeitig auf Störfälle beliebiger Ursache hinweisen, z. B. Panne, Unfall, Rauch, Brand, verlorene Ladung, oder Personen auf der Fahrbahn. Alle diese Ursachen bewirken eine sofortige Änderung des Fahrverhaltens mit Reisezeitverlust der darin involvierten Fahrzeugen, sei es direkt oder indirekt, freiwillig im eigenen Sicherheitsinteresse oder erzwungen durch die jeweilige Störfallsituation. Die jeweilige Ursache kann der Operator dann über die Videobilder der betreffenden Streckenabschnitte kognitiv im Detail ermitteln. Daraufhin kann er situationsgerechte Hilfsmaßnahmen einleiten und den weiteren Störfallverlauf hilfsbereit verfolgen.

Abbildung 6 zeigt den Systemaufbau der Innovativen Störfalldetektion.

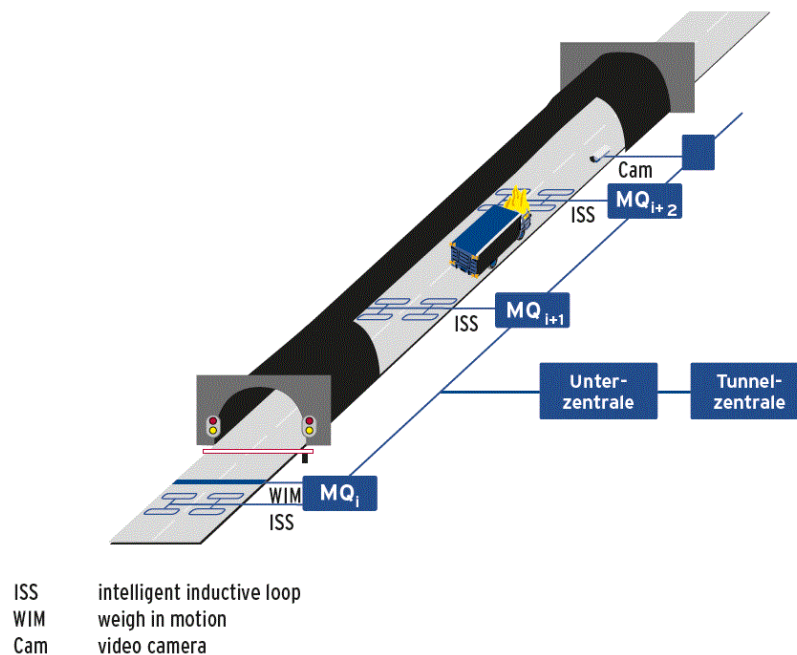


Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau des Systems zur Innovativen Störfalldetektion.

In ESIMAS wurde die Innovative Störfalldetektion mittels Intelligenten Induktionsschleifen und WIM-Technologie weiterentwickelt und optimiert. Nach Untersuchung der Grundlagen zur Erkennung von Reisezeitverlusten und Streckeninhalten mit der intelligenten Induktionsschleife erfolgte aufbauend darauf die Optimierung der Detektion von Störfällen. Dabei wurden insbesondere auch Möglichkeiten mit Integration der Gewichtsklassifizierung mit WIM-Technologie behandelt. Hierzu wurde eine Messtechnik entwickelt, die im Störfall automatisch Auskunft über die Ladungsmenge der LKW im Tunnel gibt. Dazu wurden geeignete Konzepte erarbeitet, weiter entwickelt, implementiert und im Laborversuch getestet.

3.4 Videodetektion

Im Rahmen des Forschungsprojektes ESIMAS wurde das Videodetektionssystem isacVITO entwickelt, welches sich durch eine robuste streckenbezogene Verkehrsdatenanalyse auszeichnet.

Durch die kontinuierliche Auswertung der Videostreams der Überwachungskameras können Verkehrsdaten wie mittlere Geschwindigkeit, Verkehrsstärke und Belegung für jeden Fahrstreifen getrennt oder für den gesamten Querschnitt ermittelt werden. Diese Daten können dann durch das Expertensystem benutzt werden, um die Basiswahrscheinlichkeiten abzuleiten. Über diese Verkehrsdaten hinaus können potenzielle und eingetretene Ereignisse innerhalb kürzester Zeit erkannt werden. Die im Forschungsprojekt betrachteten Ereignisse waren:

- Stau, stockender Verkehr,
- langsam fahrende Fahrzeuge,
- Stillstand von Fahrzeugen,
- Falschfahrer,
- Fahrzeuge auf dem Seitenstreifen oder in einer Pannenbucht und
- Personen auf der Fahrbahn.

Zu jedem dieser Ereignisse kann der Ort (Kamera) und der betroffene Fahrstreifen an die Tunnelleitzentrale weitergeleitet werden. Zusätzlich zu den hier betrachteten Ereignissen können auch weitere Indikatoren für mögliche Störungen im Verkehrsfluss in Betracht gezogen werden wie bei-

spielsweise besonders viele Fahrstreifenwechsel oder abrupte Bremsmanöver.

Grundlage der oben beschriebenen Auswertung ist die Detektion und Klassifikation einzelner Fahrzeuge sowie deren Tracking (Nachverfolgung) über eine Entfernung von ca. 100 m (Abbildung 7). Die im Rahmen von ESIMAS eingesetzten Methoden basieren auf Analyse der dreidimensionalen Konturen der Objekte und sind unabhängig von der Verfügbarkeit hochauflösender Bildmerkmale. Dadurch ist die automatisierte Auswertung datenschutzrechtlich unbedenklich, da bei der geringen Auflösung keine personenbezogenen Informationen erkannt werden können.



Abbildung 7: Videobasierte Fahrzeugdetektion und -verfolgung (links) und Ereignisdetektion (hier: stehengebliebenes Fahrzeug) im Demonstrator (rechts)

In ESIMAS wurde die Videodetektion weiterentwickelt und optimiert. Hierzu erfolgte zuerst die softwaretechnische Kalibrierung der in der EGH verbauten Kameras um eine Rückrechnung der Bildkoordinaten auf die Koordinaten der Fahrbahnoberfläche zu ermöglichen. Des Weiteren erfolgte die Analyse der Bewegungstrajektorien und die Erstellung und Auswertung von Weg-Zeit-Diagramme, um verkehrstechnische Kenngrößen abzuleiten und Ereignisse zu detektieren (Abbildung 8). Die ermittelten Daten wurden in einer Datenbank abgespeichert und über marktübliche Kommunikationsprotokolle an das ESIMAS weitergeleitet. Des Weiteren erfolgte die Protokollierung von Ereignissen durch die Abspeicherung der entsprechenden Videos und Ereignisbilder.

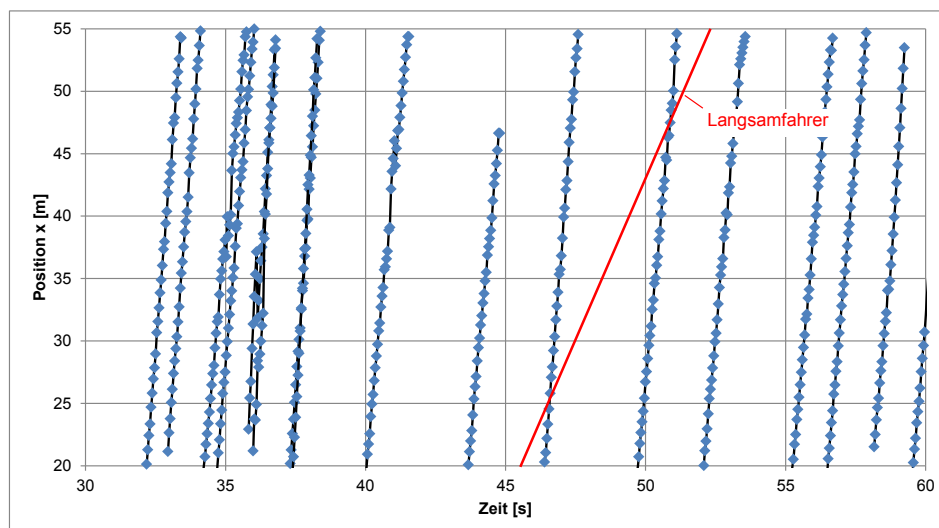


Abbildung 8: Exemplarisches Weg-Zeit-Diagramm einzelner Fahrzeuge und Detektion eines Langsamfahrers.

Das im Forschungsprojekt ESIMAS entwickelte Videodetektionssystem kann auf eine bereits im Tunnel vorhandene Videoüberwachung aufgebaut werden. Sofern hierbei bereits eine vollständige Abdeckung des Tunnels vorliegt, ist keine Erweiterung des Kamerasystems notwendig. Um die Signalqualität der vorhandenen Videoanlage nicht negativ zu beeinflussen, ist eine Entkopplung von dem Überwachungssystem sinnvoll. Im Falle analoger Kameraanbindung kann dies durch den Einbau aktiver Videoweichen realisiert werden. Bei digitaler Anbindung kann diese Entkopplung mittels Gateways erfolgen.

Hinsichtlich der Videoqualität ist vor allem eine möglichst hohe Bildrate (15–25 Bilder/Sekunde) erforderlich. Die Auflösung der Kamerasensoren spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle.

Weitere Einsatzkriterien und Detektionsmöglichkeiten können den „Hinweisen zur Videodetektion in Verkehrsbeeinflussungsanlagen“ entnommen werden (siehe Anhang 1).

3.5 Integration eines ESIMAS in die Leit- und Automatisierungstechnik

Für die Funktion sowie die Überwachung eines Tunnels ist die Leit- und Automatisierungstechnik verantwortlich. Diese gliedert sich in die vier Ebenen:

- übergeordnete Leitebene,
- Anlagenleitebene,
- Automatisierungsebene und
- Feldebene.

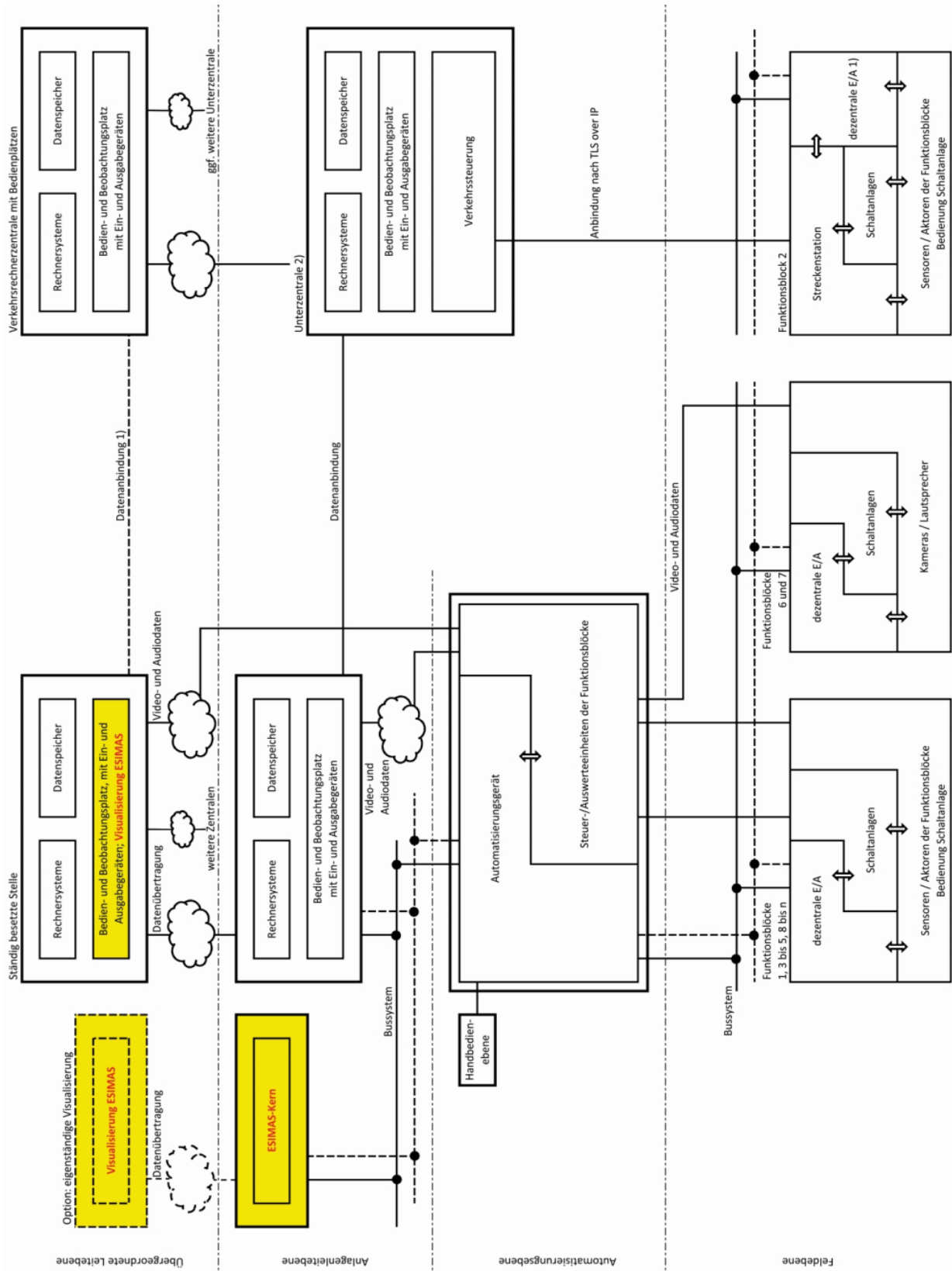
Ein ESIMAS stellt eine Erweiterung der Leit- und Automatisierungstechnik dar. Grundsätzlich hat die Einbindung des Expertensystems in die Tunnelsteuerung keine Auswirkungen auf die Systemarchitektur des Tunnels. Es wurden geeignete Schnittstellen zwischen der Leit- und Automatisierungstechnik sowie dem ESIMAS zu schaffen, um die relevanten Daten des Tunnels aus der Tunnelsteuerung in das ESIMAS zu transferieren.

In dem Forschungsprojekt wurde eine OPC-DA-Schnittstelle (Open Process Control - Data Access - Schnittstelle) entwickelt, welche die Daten über den Datenverteiler des Bundes in das ESIMAS einspeist. Neben dieser Datenkopplung wären auch andere Schnittstellen wie z. B. eine OPC-UA- oder XML-Kopplung möglich. Ebenfalls möglich wäre eine Kopplung auf der Automatisierungsebene. Hierfür würden sich u. a. TCP-IP-Protokolle oder das Protokoll nach IEC 60870-5-101–104 anbieten.

Eine entsprechende mögliche Systemkonfiguration ist in Abbildung 9 dargestellt. In jedem Fall ist das Tunneldatenmodell um die Daten des ESIMAS zu ergänzen.

Die einzelnen Detektionssysteme, die im Forschungsprojekt noch als „Entwicklungssysteme“ unter Umgehung der Tunnelsteuerung direkt an den Datenverteiler des ESIMAS angebunden wurden, werden bei einem zukünftigen Einsatz als eigenständige Funktionsblöcke (FB) direkt in die Tunnelsteuerung eingebunden. Hierdurch stehen die Systeme dann auch der eigentlichen Tunnelsteuerung zur Verfügung.

Vor der Realisierung ist die Entscheidung zu treffen, ob das ESIMAS in die vorhandene Visualisierung der Bedien- und Beobachtungsarbeitsplätze der Leitsystemebenen integriert wird oder eine eigenständige Visualisierung und Bedienung erhalten soll. In dem Forschungsprojekt wurde eine eigenständige Lösung realisiert, um Beeinflussungen der Tunnelsteuerung durch die Entwicklungsumgebung des ESIMAS auszuschließen. Auch war hiermit die Möglichkeit gegeben, eine neu entwickelte Visualisierungs- und Bedienoberfläche einzusetzen.



1) im Bedarfsfall 2) alternativ in Anlagenleitebene / Automatisierungsebene integriert

Abbildung 9: Systemkonfiguration mit einem ESIMAS; Architektur der Leit- und Automatisierungstechnik gemäß Entwurf der RABT 2015.

3.6 Zusammenfassung der Entwicklung von innovativen Detektionstechnologien und Integration des ESIMAS

Mit Abschluss des Forschungsvorhabens stehen den Tunnelbetreibern neue und deutlich verbesserte Detektionssysteme zur Verfügung. Hierdurch konnte ein wesentlicher Beitrag zur Verbesserung der Tunnelsicherheit geleistet werden. So besteht nun die Möglichkeit mit der Infrarottechnologie, kombiniert mit der Erkennung von Silhouette, bereits im Vorfeld von Tunneln Fahrzeuge mit Überhitzungen und somit einem hohen Gefahrenpotential zu identifizieren und die Aufmerksamkeit der Operatoren hierauf zu lenken. Sollte es gelingen ein betroffenes Fahrzeug an der Einfahrt in den Tunnel zu hindern, würde die Gefährdung der anderen Verkehrsteilnehmern im Tunnel vollständig ausgeschlossen.

Mit der Intelligenten Induktionsschleife steht der Tunnelüberwachung ein System zur Verfügung, welches in der Lage ist ohne Zeitverlust Abnormalitäten im Verkehrsfluss bis auf das einzelne Fahrzeug bezogen festzustellen. Hierdurch wird es möglich, sich anbahnende Ereignisse bereits dann zu erkennen, wenn für die konventionellen Überwachungssysteme noch keine detektierbaren Parameterveränderungen existieren - denn der beste Detektor ist der Verkehrsteilnehmer selbst, der sofort durch die Veränderung seines Fahrverhaltens auf mögliche Gefahren reagiert.

Das dritte Detektionssystem im Forschungsvorhaben ist die Videodetektion. Diese Technologie hat hier eine deutliche Entwicklung hin zu einer noch zuverlässigeren Detektion erfahren. Detektieren bisherige System zum Teil über den Vergleich von Bildinhalten, so setzt das neue Videodetektionssystem auf eine 3D-Modell-basierende Detektionstechnologie. Hierdurch wird es möglich die Erkennung, Lokalisierung und Klassifizierung umfeldunabhängig durchzuführen. Mit diesem Verfahren werden übliche Störgrößen wie zum Beispiel Beleuchtungsänderungen und Feuchtigkeit auf der Fahrbahn ausgeschlossen.

Mit der Integration in ein Expertensystem wie ESIMAS können diese innovativen Technologien ihre Wirksamkeit gegenüber einer konventionellen Einbindung in die Tunnelsteuerung noch weiter steigern. Das eine Integration von ESIMAS eine lösbare Aufgabe ist und in keiner Weise den aktuellen Tunnelsteuerungen und Tunnelleitsystemen entgegen steht, sondern eine sinnvolle Ergänzung hierzu darstellt, konnte hier ebenfalls bewiesen werden.

4 Datenfusion und Plausibilisierung

4.1 Allgemeines

Das folgende Kapitel beschreibt die im Rahmen von ESIMAS entwickelten Methoden zur Datenfusion und Plausibilitätsprüfung von Daten.

Alle Arbeitsschritte von AP 2 „Datenfusion und Plausibilisierung“ sind ausführlich im Bericht dieses APs beschrieben (siehe Anhang 2 [3]).

4.2 Datenbereitstellung und Plausibilisierung

4.2.1 Datenbereitstellung

Im diesem Arbeitsbereich bestand zunächst die Aufgabe, die neuen Detektionssysteme so in die vorhandene Leittechnik der EGH zu integrieren (siehe Kapitel 6: Demonstration), dass die Daten über die vorhandene Tunnelleittechnik angezeigt werden können. Des Weiteren sollten die Daten auch dem ESIMAS zur Verfügung gestellt werden. Die Ankopplung erfolgte bei der Innovativen Störfalldetektion sowie der Videodetektion auf SPS-Ebene über eine WanCom-Schnittstelle (Abbildung 10). Dieses Verfahren wurde gewählt, damit bei Ausfall der Leitebene ggf. automatische Reaktionen des Tunnels möglich sind.

Die Integration des Detektionssystems zur Erfassung von überhitzten Fahrzeugen mittels Infrarot- und Lasertechnologie (Abbildung 10) konnte auf dieser Basis nicht vorgenommen werden, da dieses System zu jeder Detektion auch mehrere Bilder erstellt, welche in der Steuerung nicht verarbeitet werden können. Daher wurde diese Detektionsart über eine Datei-Schnittstelle verwirklicht, welche auf dem Server der graphischen Benutzeroberfläche von ESIMAS (ESIMAS-GUI) läuft.

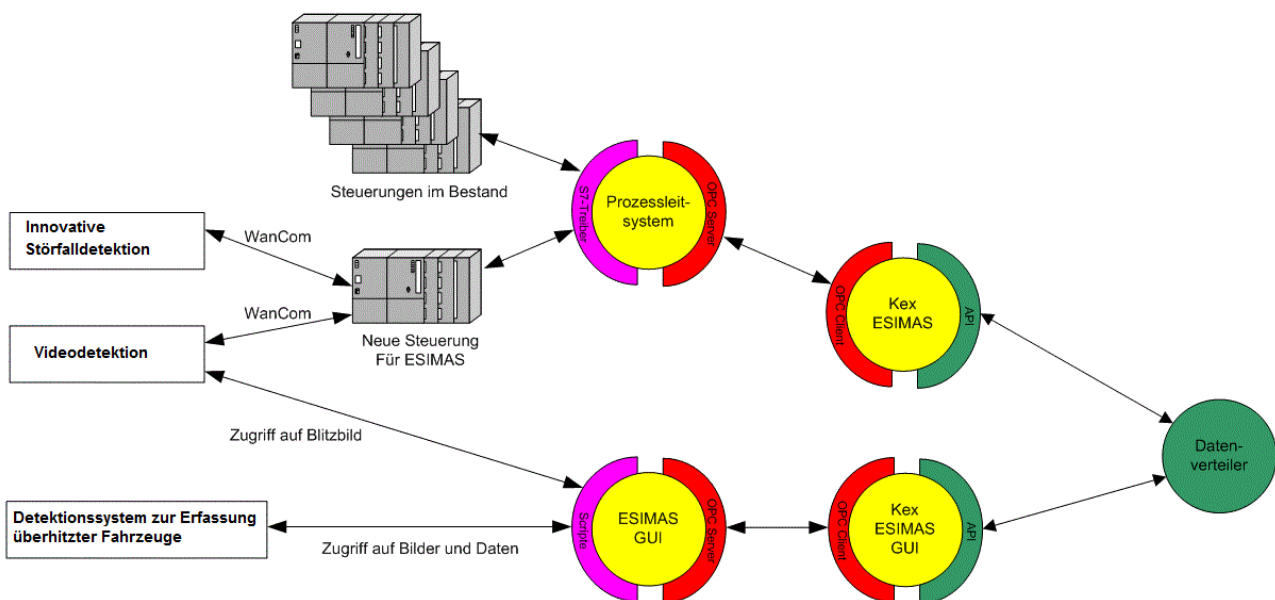


Abbildung 10: Datenbereitstellung.

Weiterhin zur Einbindung in die Leittechnik müssen die Daten dem ESIMAS zur Verfügung gestellt werden. Auf Basis vorhandener Datenpunktlisten wurde ein Datenmodell entwickelt, welches die Datenpunkte des Leitsystems im ESIMAS abbildet. Zusätzlich zu den bereits vorhandenen Informationen, wie Anlagenkennzeichen, Störmeldetexten, Messbereichen und ähnlichen wurde im Datenmodell noch eine Ortsinformation hinterlegt.

4.2.2 Datenplausibilisierung

Die Untersuchung der Möglichkeiten der Datenplausibilisierung war ein weiterer Bestandteil der Aufgaben von AP 2. Im ersten Schritt wurden die möglichen Methoden der Plausibilisierung ermittelt. Anschließend wurde geprüft, auf welche Daten sich diese Möglichkeiten anwenden lassen. Die untersuchten Methoden zur Plausibilisierung kommen in den verschiedenen beteiligten Systemen bereits zum Einsatz.

4.3 Datenfusion und Datenverknüpfung

Eine wesentliche Aufgabe dieses Arbeitsbereichs war die Erarbeitung von Methoden und die Entwicklung von Software-Tools zur Aufbereitung und Verknüpfung der aus den verschiedenen Daten- und Informationsquellen bereitgestellten Messwerte und Informationen. Die Verfahren müssen in der Lage sein, verschiedene Datenarten (u. a. kontinuierliche Messwerte und ereignisbezogene Alarmer und Meldungen) mit unterschiedlichen Datenformaten aus einer Vielzahl von Quellen miteinander verknüpfen zu können, wobei die folgende Datenarten und -quellen zu berücksichtigen waren:

- lokale und streckenbezogene Verkehrsdaten aus Schleifendetektoren,
- Ergebnisse von Fahrzeugsilhouetten-Erfassungssystemen,
- Fahrzeugzustandsmeldungen aus Wärmebild-Scanning-Verfahren,
- Daten, Alarmer und Meldungen aus Videodetektions-Verfahren,
- Daten und Meldungen aus den klassischen Tunnelüberwachungseinrichtungen (Brandmeldekabel, CO- und Sichttrübungssensoren, Notrufeinrichtungen, Alarmer beim Öffnen von Notausgängen und Notrufräumen usw.).

Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung von Verfahren zur Datenfusion bestand darin, dass diese auch mit unplausiblen Messdaten und inkonsistenten Meldungen umgehen können müssen. Die Datenfusionsverfahren mussten so ausgelegt werden, dass sicherheitsrelevante Ereignisse einerseits möglichst schnell andererseits aber auch mit großer Zuverlässigkeit detektiert werden.

Die Bewertung der Güte der verschiedenen Daten unterschiedlicher Quellen war in den zu entwickelnden Fusionsverfahren ebenfalls zu berücksichtigen. Dies erfolgte dadurch, dass bei der Berechnung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen ausgewählten Datenarten mit hoher Aussagekraft und geringen Fehlalarmraten ein deutlich höheres Gewicht eingeräumt wird als anderen Daten.

Als Ansatz zur Bewertung der Risikosituation in einem Tunnel wurden so genannte Initialereignisse definiert. Diese sind Ereignisse, die es gilt, nach Möglichkeit zu vermeiden oder aber deren Ausmaß so gering wie möglich zu halten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich für diese Ereignisse überhaupt ein relevantes Risiko ermitteln lässt. Da sich das berechnete Risiko aus dem Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und des zu erwartenden Ausmaßes ergibt, liegt bei dieser Abwägung der Fokus darauf, dass sich überhaupt ein signifikantes Ausmaß beziffern lässt. Dementsprechend wurden als gängige Initialereignisse der Unfall, der Brand und Ereignisse mit Freisetzung von Gefahrgütern festgelegt.

Um Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit der definierten Initialereignisse zu erlangen, werden die Daten der im zu überwachenden Objekt installierten Detektionstechnik herangezogen und vorab auf herkömmliche Art und Weise mittels geeigneter und zur Datenart passender Methoden plausibilisiert (Abbildung 11).

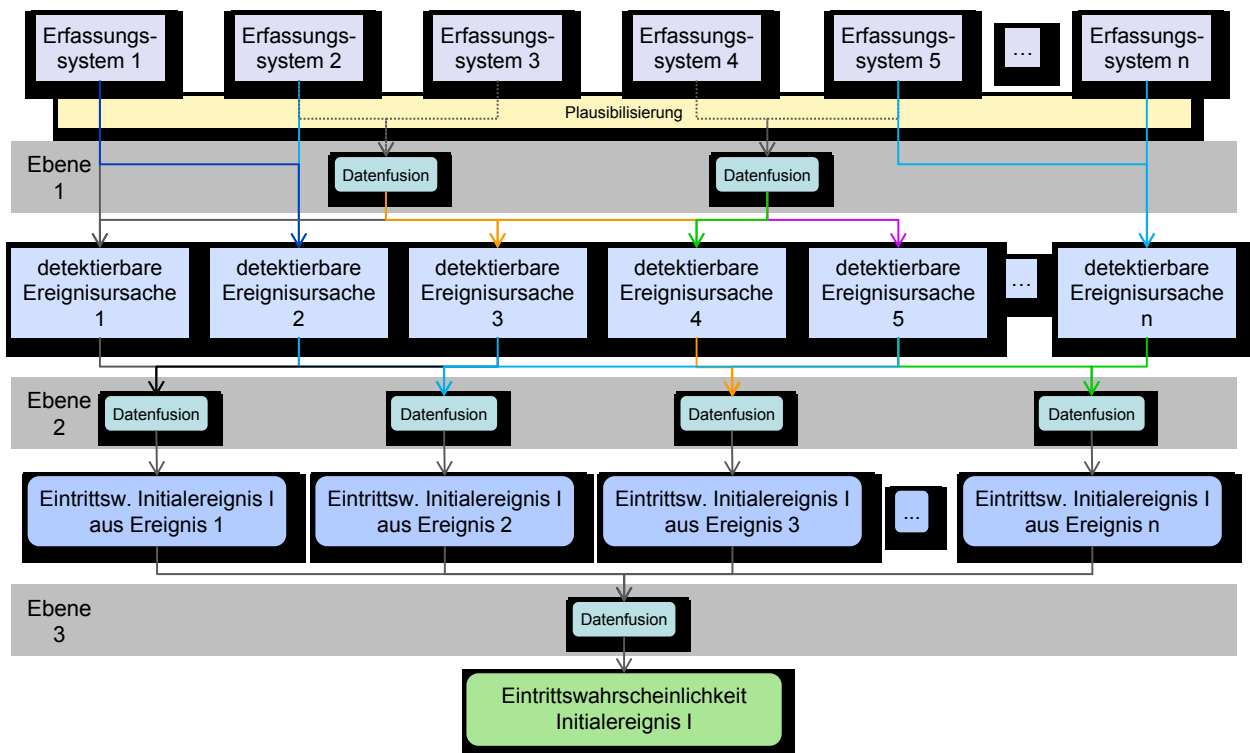


Abbildung 11: Systematik der Datenfusion.

4.4 Softwaretechnische Umsetzung und Integration in das Prozessleitsystem

Die in den vorangegangenen Aufgaben erarbeiteten Methoden und Verfahren zur Datenplausibilisierung und Verknüpfung wurden im Rahmen dieser Aufgabe in Softwaremodulen umgesetzt. Die Integration der Module in Prozesssoftware von Tunnelleitzentralen stellte die zweite wichtige Leistung dieser Aufgabe dar.

4.4.1 Softwarearchitektur des ESIMAS-Prototypen

Die nachfolgende Abbildung gibt einen Überblick über die Systemarchitektur des ESIMAS-Prototypen. Der Block „ESIMAS Sicherheitsanalyse“ gibt die SW-Module wieder, die im Rahmen der Arbeitspakete 2 und 3 entwickelt wurden.

Der *Datenverteiler* sowie die Module

- Konfiguration,
- Parametrierung,
- Archivsystem und
- Protokolle und Auswertungen.

entstammen der Standardsoftware für Verkehrsrechnerzentralen („VRZ-Basissystem“) und wurden auf die Belange des ESIMAS-Prototypen angepasst.

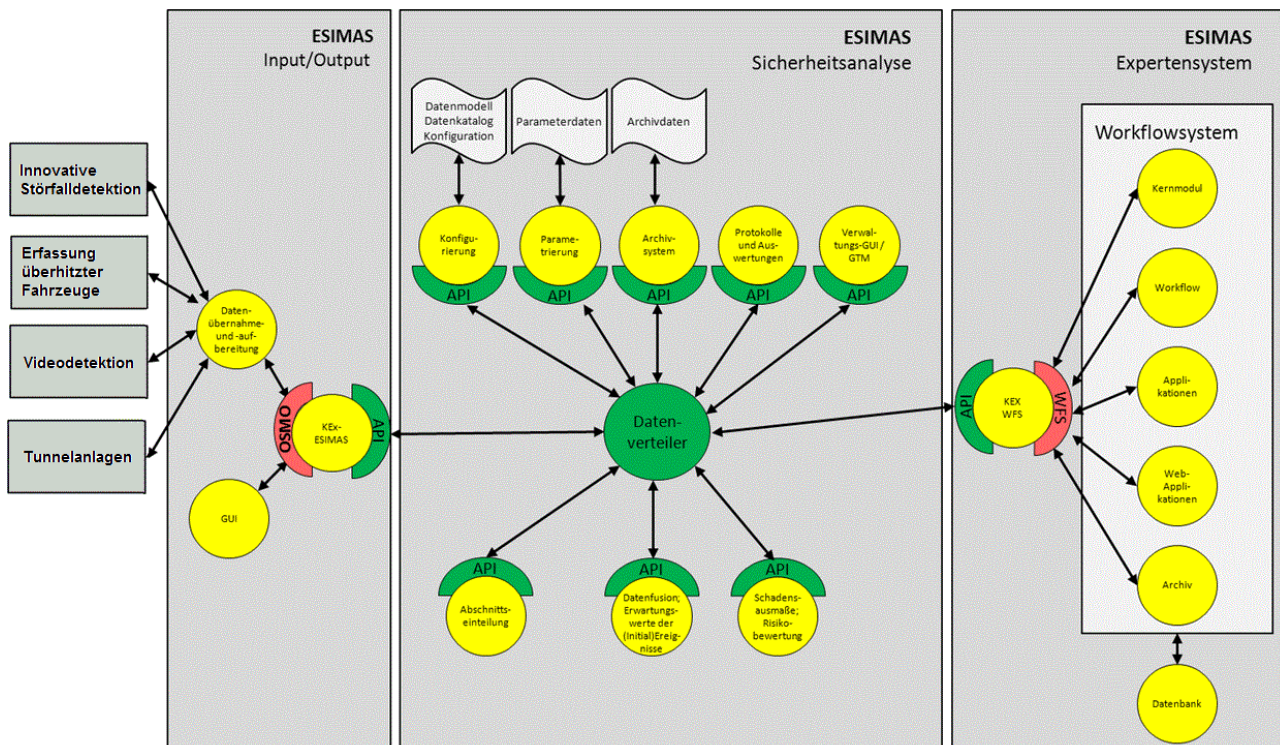


Abbildung 12: Überblick der Systemarchitektur von ESIMAS.

Das Modul *Verwaltungs-GUI / Generischer Test-Monitor (GTM)* dient als systeminternes Bedien- und Visualisierungstool zur Verwaltung und Anpassung der Konfigurationsdaten und Parameter sowie als Ein- und Ausgabemedium für die Durchführung von Tests.

Im Modul *Abschnittseinteilung* werden die vorhandenen Strecken so aufgeteilt, dass zum einen dem Operator ein einheitliches Bild mit vergleichbar langen und gleichmäßig eingeteilten Strecken dargestellt werden können. Zum anderen werden Streckenabschnitte ermittelt, die einheitlich einem Sensor zugeordnet werden können, wodurch eine sinnvolle und einfache Überlagerung der einzelnen Sensorwerte ermöglicht wird. Das Modul *Abschnittseinteilung* wird in der Regel nur einmal zur Einrichtung des Systems abgearbeitet; als Ergebnis werden die resultierenden Segmentierungen - zusammen mit verschiedenen sinnvollen Referenzierungsinformationen - als dynamische Objekte in der Konfiguration abgelegt. Die Daten sind dabei als Parameter abgelegt; dadurch ist sichergestellt, dass es grundsätzlich möglich ist, jederzeit ohne Neustart des Systems Anpassungen an den Segmentierungen und den zusätzlich enthaltenen Parametern vorzunehmen.

Im Modul *Datenfusion / Erwartungswerte der (Initial)Ereignisse* können die Eingangsdaten, die zuvor in ein einheitliches Format gebracht wurden, nach verschiedenen Methoden miteinander verknüpft werden. Hierfür werden spezielle, parametrierbare Berechnungsklassen verwendet, in denen die verschiedenen Verknüpfungsregeln hinterlegt sind. Als Ergebnisse stehen am Ende der Berechnung jeweils die Erwartungswerte für die einzelnen Initialereignisse, Ereignisse und detektierbaren Ereignisursachen je Berechnungssegment und Zeiteinheit zur Verfügung.

Das Modul *Schadensausmaße / Risikobewertung* ermittelt an Hand der aktuellen Systemzustände die jeweiligen Schadensausmaße und Risikowerte (siehe Anhang 3 [4]). Hierzu werden die aktuellen Systemzustände des betrachteten Tunnels, die über das Modul *Datenübernahme und -aufbereitung* importiert wurden, herangezogen und die Wahrscheinlichkeiten für das Funktionieren bzw. Nicht-Funktionieren der entsprechenden Systemelemente ermittelt. Die Systemzustände werden dabei an jeweils zugehörigen dynamischen Objekten publiziert, welche je Berechnungselement und je Berechnungssegment und betrachtetem Ausstattungselement erzeugt werden. Daraus wird schließlich das Gesamtrisiko je Berechnungssegment und je Tunnelröhre aggregiert.

4.4.2 Integration des ESIMAS-Prototypen in das Prozessleitsystem

4.4.2.1 Schnittstelle zum ESIMAS-Kern

Einen zentralen Bestandteil der Integration des ESIMAS-Kernsystems in das Prozessleitsystem stellt der Datenaustausch zwischen den beiden Systemen dar. Für die Standardsoftware für Verkehrsrechnerzentralen ist derzeit keine gängige Schnittstelle für den Datenaustausch mit Prozessleitsystemen vorhanden. Gängige Schnittstellen im Bereich der Prozessleittechnik wären z.B. OPC, Modbus oder das Fernwirk-Protokoll 61850-5-104. Daher wurde eine zur Standardsoftware für Verkehrsrechnerzentralen kompatible Schnittstelle KEx ESIMAS entwickelt, die sich als OPC-DA Client mit dem vorhandenen Prozessleitsystem verbindet. Diese Schnittstelle ist auf allen gängigen Prozessleitsystemen verfügbar, so dass der ESIMAS-Kern mit verschiedenen Leitsystemen zusammenarbeiten kann.

Aus Sicht des ESIMAS-Kerns stellt diese Schnittstelle die Datenquelle für die Tunneldaten dar. Die Daten der Videodetektion und der Innovativen Störfalldetektion werden zunächst zum Bestandssystem übertragen und ebenfalls über diese Schnittstelle weitergeleitet. Die Schnittstelle des Detektionssystems zur Erfassung überhitzter Fahrzeuge liefert neben den Alarmen auch die entsprechenden Bilder, so dass für die Einbindung dieser Daten auf einen Dateifreigabe zurückgegriffen wurde. In dieser Freigabe liegen zum einen die Bilder und zum anderen eine Datei mit den Alarmdaten. Um diese Daten auszulesen, läuft auf dem ESIMAS-GUI Server ein Skript, welches zyklisch das Lebenstelegramm sowie das Vorhandensein einer Detektionsdatei im freigegebenen Verzeichnis überprüft. Sobald eine Detektion erkannt wird, wird der Inhalt der Datei ausgewertet und die entsprechenden Daten an das ESIMAS-Kernsystem übermittelt. Parallel werden die Fotos der Wärmebildkameras an die GUI Clients verteilt.

Im Laufe des Projektes entstand der Wunsch der Nutzer, auch von der Videodetektion, Blitzbilder zu erhalten. Dieses wurde ebenfalls mit Hilfe eines Skripts in der ESIMAS-GUI realisiert. Der Mechanismus ähnelt dem, der bei der Anbindung des Detektionssystems zur Erfassung überhitzter Fahrzeuge zum Einsatz kommt. Die generierten Blitzfotos werden auf einem freigegebenen Netzlaufwerk der ESIMAS-GUI vom Videosystem zur Verfügung gestellt.

Die ESIMAS-GUI wertet die Detektionen und die vom Kernsystem generierten Meldungen aus und liefert zu jeder Videodetektion, sprich pro Kamera und pro Detektion, da die Kameras mehrere Ereignisse gleichzeitig detektieren können, eine Ereignisaufnahme (Blitzfoto).

Die Blitzfotos werden automatisch aufgeblendet, sobald die entsprechende Meldung in der Melde-liste vom Bediener angewählt wird. Um eine eindeutige Zuordnung der Aufnahme zu einer Kamera und deren Position im Tunnel zu erhalten, werden neben den Informationen aus dem GUI die Positionierung, die Blickrichtung und das detektierte Ereignis im Blitzfoto festgehalten.

4.4.2.2 Datenmodell

Für die Anbindung der vorhandenen Signale und der neuen Detektionssysteme wurde auf Grundlage der Datenpunktlisten ein Datenmodell erstellt, welches die Daten im Datenverteiler aufnimmt. Die einzelnen Objekte aus den Datenpunktlisten müssen in das Datenmodell ein gepflegt und mit Ortungsinformationen versehen werden. Dieses Model muss für die jeweiligen Gegebenheiten und Strukturen des einzubindenden Bestandssystems angepasst werden.

Die Anbindung der ESIMAS-GUI erfolgt über ein weiteres Datenmodell des Kernsystems. Dieses bildet die Objekte der einzelnen Module wie Risikomanagement oder Workflowsystem ab.

4.4.2.3 ESIMAS-Benutzeroberfläche

Zu Beginn des Projekts wurden diverse Überlegungen angestellt, die ESIMAS-GUI direkt in das Prozessleitsystem des Tunnels zu integrieren. Diese Variante bietet den Vorteil, dass die Benutzeroberfläche den Vorgaben der Leittechnik folgt und kein Bruch in der Bedienung vorhanden ist. Ein großer Nachteil ist, dass das GUI für jedes Prozessleitsystem neu erstellt bzw. programmiert werden müsste. Des Weiteren bieten nicht alle Prozessleitsysteme die für die Oberflächengestaltung notwendigen Möglichkeiten an und können somit die im Laufe des Projektes formulierten An-

forderungen an die Bedienoberfläche nicht erfüllen.

Daher wurde für die ESIMAS-GUI auf das Prozessleitsystem WinCC OA von Siemens zurückgegriffen. Das System läuft unabhängig vom ESIMAS Kernsystem auf einem eigenen Rechner bzw. auf einer eigenen virtuellen Maschine.

Die Kopplung an das ESIMAS-Kernsystem erfolgt ebenfalls über einen OPC Treiber. Die Aufschaltung des GUI auf den Bedienrechner im Tunnel bzw. in der Tunnelleitzentrale erfolgt über eine Client Software, welche auf diesen installiert wird.

Die Bedienoberfläche des ESIMAS ist für die Aufschaltung von bis zu 9 weiteren Tunneln vorbereitet. Das Grundsystem der GUI wird nur einmal benötigt, alle weiteren Tunnel werden auf diesen Rechner aufgeschaltet. Wenn mehr als 9 Tunnel auf das ESIMAS aufgeschaltet werden sollen, muss das Grundbild entsprechend angepasst werden.

4.5 Zusammenfassung zur Datenfusion und Plausibilisierung

Als Ansatz zur Bewertung der Risikosituation in einem Tunnel wurden für das Echtzeit-Sicherheits-Management-System so genannte Initialereignisse definiert. Diese sind Ereignisse, die es gilt, nach Möglichkeit zu vermeiden oder aber deren Ausmaß so gering wie möglich zu halten. Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich für diese Ereignisse überhaupt ein relevantes Risiko ermitteln lässt. Da sich das berechnete Risiko aus dem Produkt der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses und des zu erwartenden Ausmaßes ergibt, liegt bei dieser Abwägung der Fokus darauf, dass sich überhaupt ein signifikantes Ausmaß beziffern lässt. Dementsprechend wurden als gängige Initialereignisse der Unfall, der Brand und Ereignisse mit Freisetzung von Gefahrgütern festgelegt.

Eine besondere Herausforderung bei der Entwicklung von Verfahren zur Datenfusion bestand darin, dass diese auch mit unplausiblen Messdaten und inkonsistenten Meldungen umgehen können müssen. Fehlalarme sollen möglichst vermieden werden. Dies bedeutet, dass Ansätze gefunden werden mussten, um die Güte der verschiedenen Datenarten und -quellen sowie deren Aussagekraft zu der Detektion bestimmter Ereignisse bewerten zu können. Wichtige Indikatoren dafür waren Erkennungs- und Fehlalarmraten von Messverfahren sowie Ausfallraten von Detektionssystemen.

5 Sicherheitsanalyse und Risikobewertung

Das folgende Kapitel beschreibt die im Rahmen von ESIMAS entwickelte Methoden zur Erfassung und Darstellung der Sicherheitslage im Tunnel. Zur Sicherheitsbeurteilung war ein Verfahren zur Online-Risikoanalyse sowie zur Online-Risikobewertung zu entwickeln.

Alle Arbeitsschritte von AP 3 „Sicherheitsanalyse und Risikobewertung“ sind ausführlich im Bericht dieses APs beschrieben (siehe Anhang 3 [4]).

5.1 Online-Sicherheitsanalyse, Online-Risikobewertung

5.1.1 Online-Sicherheitsanalyse

In diesem Aufgabenbereich wurden aufbauend auf der Datenausgabe aus AP 2 Methoden entwickelt und umgesetzt, die Aussagen zur momentanen Sicherheits- bzw. Gefährdungslage von Bauwerk und Tunnelnutzer ermöglichen. Ziel dieser Methoden war es, unter Berücksichtigung unterschiedlicher Kennwerte, Angaben über die Eintrittswahrscheinlichkeit von bestimmten Initialereignissen zu erhalten. Die Berücksichtigung von Abhängigkeiten zwischen den jeweiligen Kennwerten erforderte den Aufbau entsprechender Regelvorschriften und Logiken.

Grundlage hierfür bildet die Methodik der Quantitativen Risikoanalysen (QRA), wodurch sowohl die Eintrittswahrscheinlichkeiten von bestimmten Ereignissen als auch deren Schadensausmaße berücksichtigt werden können. Die Quantifizierung von Risiken erfordert die Kenntnis über die Wahrscheinlichkeit, mit der bestimmte Schadensereignisse eintreten. Als Maß für das Risiko dient hierbei die Verknüpfung von Schadensausmaß mit der zugehörigen Eintrittswahrscheinlichkeit. Das Risiko ist wie folgt definiert:

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

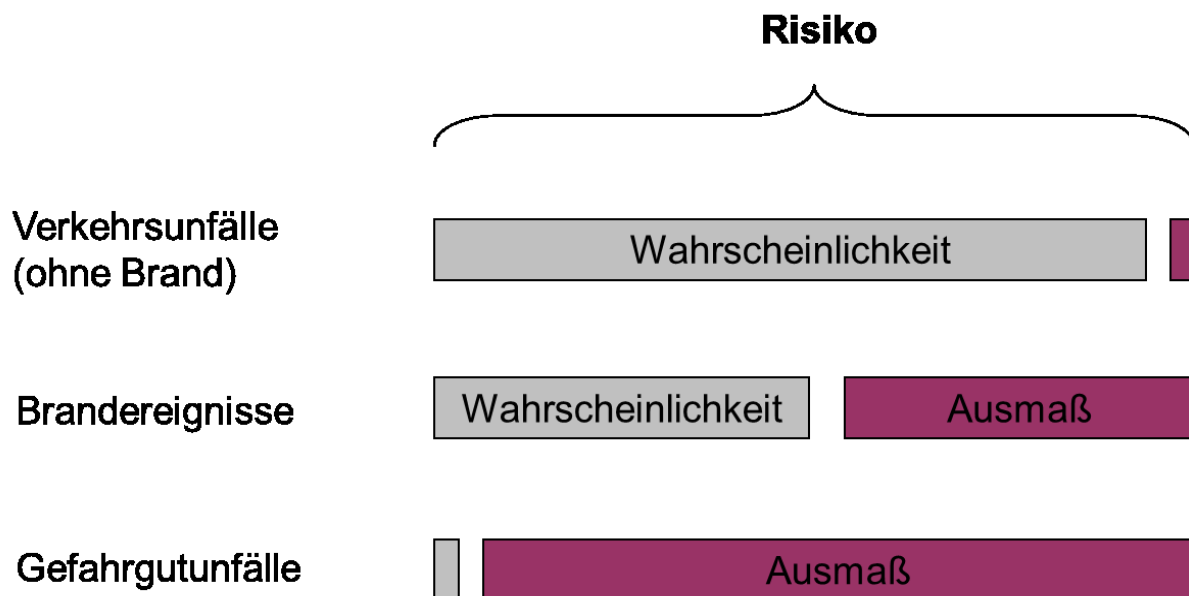


Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit des Ereignisses und Schadensausmaß.

Mit Hilfe einer Fehlerbaumanalyse konnten nun die Eintrittswahrscheinlichkeiten für die Endzustände im Ereignisablauf bestimmt werden. Anschließend wurden diese Eintrittswahrscheinlichkeiten mit den Ein- und Auswirkungen der Simulationen verknüpft. Daraus ließen sich die Schadensausmaße berechnen und das Risiko ermitteln.

Die wichtigsten Eingangsparameter zur Durchführung der Quantitativen Risikoanalyse für die EGH sind:

- Brandleistung,
- Zeitraum (Tag / Nacht),
- Verkehrszustand (Stau / freier Verkehrsfluss),
- Branddetektion (ja / nein),
- Alarmierung (ja / nein),
- Tunnelsperrung (ja / nein),
- Mechanische Brandlüftung (ja / nein),
- Öffnung Rauchabzugsfenster (speziell beim Tunnel Hösbach),
- Erhöhtes Schadensausmaß (Bsp.: Reisebusse) und
- Beginn der Fremdrettung.

Die Eingangswerte für die einzelnen Parameter werden teils über eine statistische Verteilung erfasst, teils mit Hilfe der Fehlerbaumanalyse ermittelt.

5.1.2 Online-Risikobewertung

Dieser Aufgabenbereich diente der Erarbeitung von Methoden und Berechnungsabläufen für die Risikobewertung im Online-Prozess. Entsprechend der bei Risikobewertungen üblichen Vorgehensweise wurden Eintrittswahrscheinlichkeiten von bestimmten Ereignissen mit der Größe korrespondierender Auswirkungen verknüpft.

Die Online-Risikobewertung baut auf den Ergebnissen aus der Online-Risikoanalyse auf (Abbildung 14). Hierbei ist zu klären, welche Risiken für den sicheren Betrieb eines Tunnels akzeptiert werden können und welche eine erhöhte Aufmerksamkeit durch die Operatoren oder das Einleiten von Maßnahmen erfordern.

Das Ziel der Online-Risikobewertung bestand darin, auf Basis bewerteter Risiken eine Beurteilung der momentanen Sicherheitslage zu ermöglichen, um gegebenenfalls risikomindernde Maßnahmen einleiten zu können. Hierzu wurden bestehende Erkenntnisse zur Akzeptanz von Risiken im Bereich von Straßenverkehrsinfrastrukturen systematisch aufbereitet. Mittels einer Sensitivitätsanalyse wurden ferner die Eingangswerte bzw. die Maßnahmen identifiziert, welche die Risiken maßgeblich beeinflussen. Des Weiteren wurde ein Verfahren zur Bewertung von Online-Risiken erarbeitet.

Grundlage hierzu bildeten die vorgegebenen Fehler- und Ereignisbäume für bestimmte Initialereignisse sowie vorberechnete (offline) Schadensausmaße, aus denen dann entsprechende Wahrscheinlichkeits-Ausmaß-Diagramme bzw. aktuelle Risikowerte abgeleitet werden können. Die Bewertung der momentanen Risiken erfolgt schließlich mit Hilfe von Akzeptabilitätsbereichen durch Vorgabe entsprechender Schwellwerte.

Die Ermittlung der Schadensausmaße erfolgt mittels numerischer Rechenverfahren. Zur Bestimmung von Einwirkgrößen kommen CFD-Modelle zum Einsatz, die räumlich und zeitlich hochauflösende Aussagen hinsichtlich der Verteilung von Druck, Temperatur und Konzentrationen im 3-dimensionalen Raum erlauben. Durch Verknüpfung der Einwirkgrößen mit Flucht- und Evakuierungsmodellen lässt sich schließlich das szenarioabhängige Schadensausmaß ermitteln.

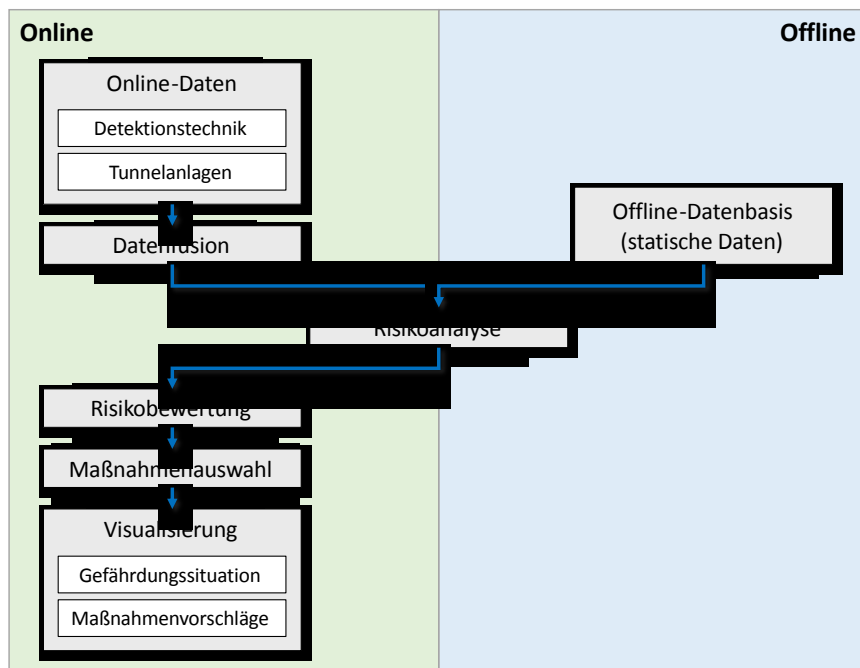


Abbildung 14: On- und Offline-Komponenten eines ESIMAS.

Aufgrund des erforderlichen Zeitaufwands für die Ausbreitungsrechnungen der QRA wurden für die ausgewählten Szenarien Vorberechnungen offline durchgeführt und deren Ergebnisse im ESIMAS-Kern hinterlegt. Im Rahmen der softwaretechnischen Umsetzung wurde eine entsprechende Datenbank (Ereignisspeicher) konzipiert und eingerichtet.

5.2 Visualisierung der Sicherheitslage

Dieser Aufgabe umfasste in Abstimmung mit AP 7 „Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ (Kapitel 9) die Entwicklung eines Vorschlags zur grafischen Darstellung der Sicherheitslage. Hierzu wurde festgelegt, dass die Sicherheitslage in der GUI getrennt für die drei Initialereignisse und für jede Fahrtrichtung angezeigt wird. Die Anzeige besteht für jedes Ereignis aus drei Teilen (Abbildung 15).

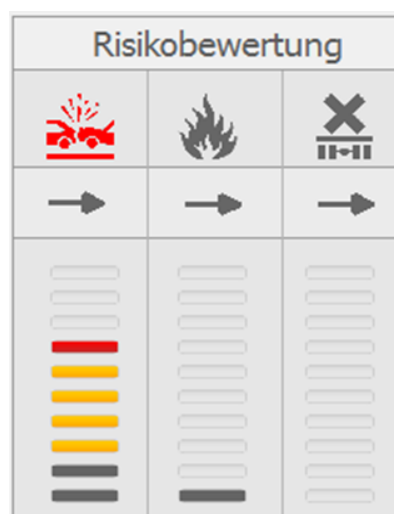


Abbildung 15: Risikodarstellung in der ESIMAS-GUI.

Im oberen Bereich symbolisiert ein Icon das jeweilige Initialereignis (Unfall, Brand und Gefahrgut). Im mittleren Teil befindet sich ein Pfeil, welcher die Richtung des Risikos seit der letzten Berech-

nung angibt. Im unteren Teil befindet sich ein Bar-Graph mit 10 Einteilungen. Die Werte im Bar-Graph werden in unterschiedlichen Farben dargestellt. Im unteren Bereich sind die Balken grau, im mittleren gelb und bei hohem Risiko färben sich die Balken rot. Das Icon nimmt die Farbe des Risikowerts an.

Zur Aufmerksamkeitslenkung dienen auch die Schaltflächen für die einzelnen Tunnel in der GUI Oberfläche (Abbildung 16). In der Schaltfläche finden sich drei Icons. In diesen werden jeweils die Risiken der drei Initialereignisse angezeigt. In diesem Fall beziehen sich die Anzeigen allerdings auf den gesamten Tunnel. Der Pfeil ergibt sich ebenfalls aus der Summe der Initialereignisse in beide Fahrtrichtungen.

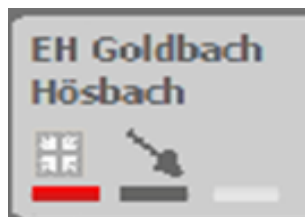


Abbildung 16: GUI Auswahlbutton Tunnel.

Bei Ereignissen bzw. bei Überschreiten bestimmter Risikowerte werden blinkende Rahmen um die betroffenen Initialereignisse und des Übersichtsbildes eingeblendet. Der Tunnelbutton blinkt ebenfalls in der Alarm- oder Warnfarbe.

Zur akustischen Untermalung werden für jeden Bereich des Bar-Graphen (rot, gelb, grau) auf den Bedienplätzen entsprechende Töne abgespielt.

Der Verlauf der berechneten Werte über einen bestimmten Zeitraum kann anhand des Trendverlaufes nachverfolgt werden (vgl. Abbildung 17).

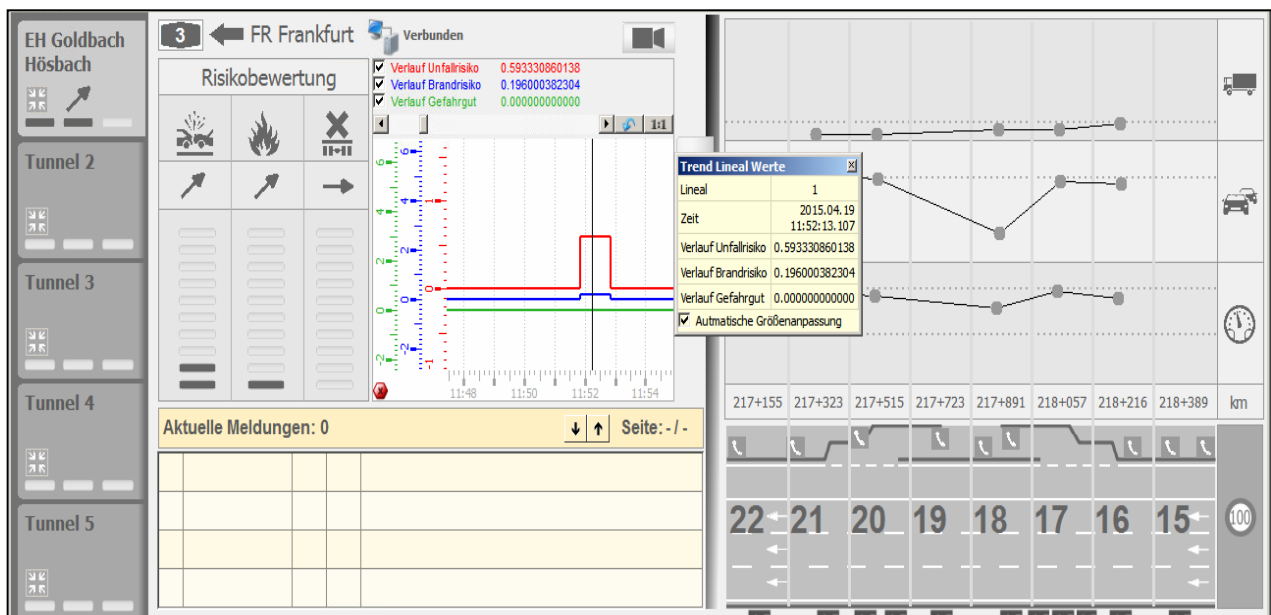


Abbildung 17: Risikoverlauf als Trend.

5.3 Zusammenfassung zur Sicherheitsanalyse und Risikobewertung

Mit der Umsetzung einer Risikoanalyse und Risikobewertung in einem Online-Prozess zur Tunnelüberwachung wurde absolutes Neuland beschritten. Auf Basis der von den verschiedenen Detektionssystemen im Tunnel gelieferten und fusionierten Daten können mit Hilfe der Online-Risikoanalyse Aussagen zum aktuell vorhandenen Sicherheitsniveau in einem Tunnel getroffen werden. Auf den Ergebnissen der Risikoanalyse baut die Online-Risikobewertung auf. Der im Rahmen des Projektes erarbeitete Vorschlag zur Risikobewertung ermöglicht eine Beurteilung der momentanen Sicherheitslage auf der Grundlage bewerteter Risiken. Mittels einer Sensitivitätsanalyse wurden darüber hinaus die Eingangsparameter identifiziert, die die Risiken maßgeblich beeinflussen.

Die für die Online-Sicherheitsanalyse entwickelten Verfahren liefern Tunneloperatoren detaillierte Informationen zur Sicherheitslage im Tunnel, unterstützen sie bei der frühzeitigen Erkennung von vorhandenen Gefährdungspotentialen und bieten Handlungsvorschläge für die gegebenenfalls erforderliche Einleitung risikomindernder Maßnahmen an.

Des Weiteren wurde ein Vorschlag zur Visualisierung der Sicherheitslage für die Operatoren in der Tunnelleitzentrale erarbeitet.

6 Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem

6.1 Allgemeines

Das folgende Kapitel beschreibt die im Rahmen von ESIMAS entwickelten Maßnahmen und Strategien zur Unterstützung der Operatoren und deren Integration in das Expertensystem. Im Ereignisfall in einem Straßentunnel ist die rechtzeitige Auswahl adäquater Maßnahmen für das Leitstellenpersonal von grundsätzlicher Bedeutung, um im Falle einer Risikosituation oder eines detektierten Ereignisses zum einen die Eintrittswahrscheinlichkeit eines schwerwiegenden Ereignisses (Unfall, Brand oder Freisetzung von Gefahrgut) zu reduzieren oder zum anderen das Schadensausmaß bei einem bereits eingetretenen Ereignisses zu minimieren. Grundlage für die Auswahl von Maßnahmen sind Informationen über das mögliche Gefährdungspotential (z. B. Anzahl Fahrzeuge im Tunnel) und die zugehörige Abschätzung des vorliegenden Risikos. Bei der Auswahl geeigneter Maßnahmen soll der Tunneloperator durch das neu entwickelte ESIMAS unterstützt werden.

Ziel von Arbeitspaket 4 war es, mit Hilfe des neu entwickelten Expertensystems dem Tunneloperator mögliche adäquate Maßnahmen zur Minimierung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Initialereignisses und zur Ausmaßminderung online zur Verfügung zu stellen. Das System soll dem Operator dabei sinnvolle Handlungsalternativen vorschlagen und in einer Aufgabenliste darstellen (Tunnel sperren, Brandlüftung aktivieren, Beleuchtung anpassen, Lautsprecherdurchsagen, Fluchtwegleitsystem aktivieren etc.). Letztendlich soll das System dazu beitragen, dass der Operator in einer Stresssituation ohne unnötige Verzögerungen die richtigen Schritte einleitet – insbesondere, wenn er mehrere Straßentunnel gleichzeitig überwachen muss.

Alle Arbeitsschritte von AP 4 „Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem“ sind ausführlich im Bericht dieses APs beschrieben (siehe Anhang 4 [5]).

6.2 Zusammenstellung eines Maßnahmenkatalogs

Basis des Maßnahmenkatalogs bildet zum einen eine Analyse von bestehenden Alarm- und Gefahrenabwehrplänen (AGAP), in denen Maßnahmen für bestimmte Ereignisse bereits erfasst sind und zum Anderen die im AP 2/3 (siehe Anhänge 2/3) erarbeiteten detektierbaren Ereignisursachen, für die entsprechende Maßnahmen in Form von Handlungsempfehlungen entwickelt wurden. Darüber hinaus wurden Ereignismeldebögen der Betreiber von Straßentunneln analysiert, um Aufschluss über erfolgte Ereignisse zu erhalten und den dabei entsprechend eingeleiteten Gegenmaßnahmen.

In einem nächsten Schritt wurden die Einzelmaßnahmen aus dem Maßnahmenkatalog den aufgestellten Stör- und Notfällen zugeordnet und in eine logische Abfolge gebracht. Daraus wurden Muster-Handlungsempfehlungen entwickelt, die auf die in den AGAP beschriebenen Stör- und Notfälle angewendet werden können. Bei der Analyse der Einzelmaßnahmen aus AGAP wurde ersichtlich, dass nicht nur die in der RABT beschriebenen Steuerungsmaßnahmen für Betriebs- und Verkehrstechnik verwendet werden, sondern auch Elemente der Aufmerksamkeitslenkung und Informationsweitergabe Anwendung finden. Die Kategorisierung der Einzelmaßnahmen wurde daher in Anlehnung der RABT 2006 (Abschnitt 1.2.3) **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** kategorisierten Aufgabenbereichen zugeordnet.

Abbildung 18 zeigt die Ereignisse und deren Häufigkeit, die in AGAP erfasst wurden. Dabei fällt auf, dass es hier Unterschiede gibt, welche Ereignisse generell betrachtet werden, aber auch wie diese durch geeignete Gegenmaßnahmen behandelt werden.

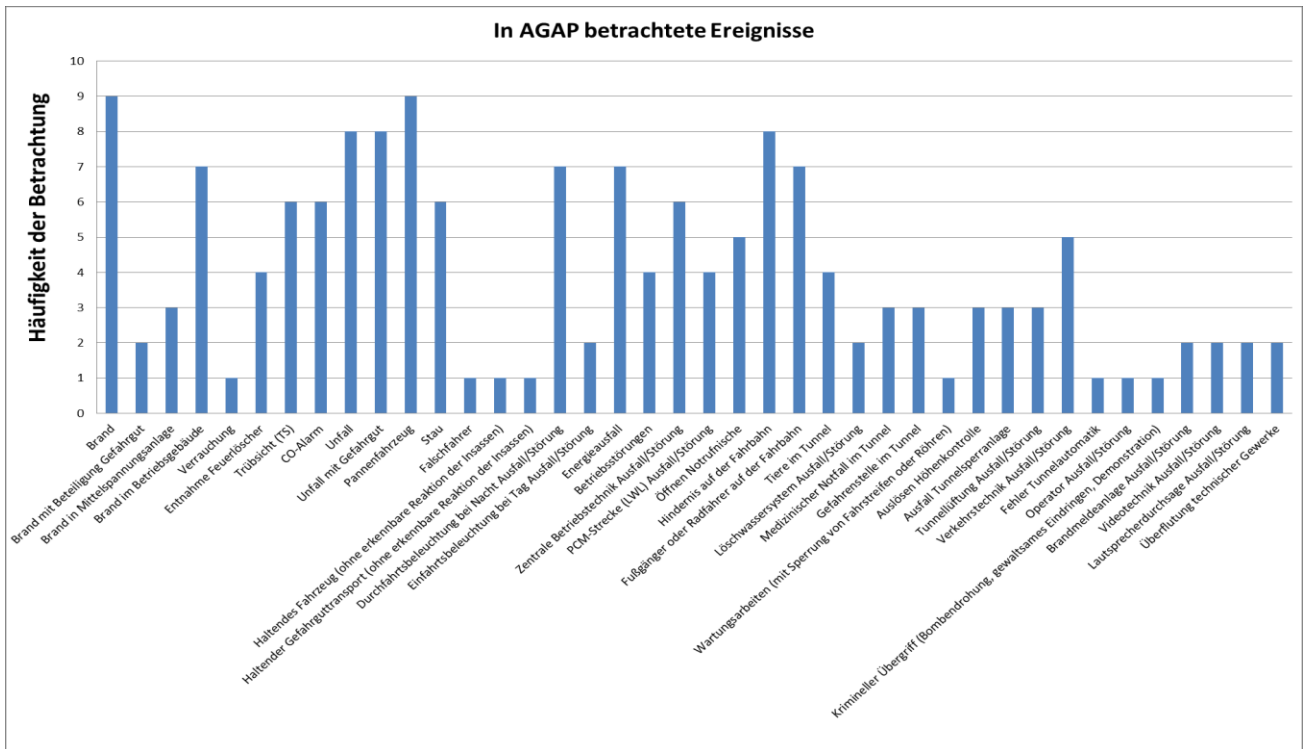


Abbildung 18: Ereignisse aus der Analyse von AGAP (siehe Anhang 4 [5]).

Auf Basis dieser Informationen konnte ein Katalog an technisch durchführbaren Maßnahmen aufgestellt werden. Da die Maßnahmen in den ausgewerteten AGAPs unterschiedlich detailliert und auch formuliert waren, wurden diese in einer ESIMAS Definition zusammengefasst. Anschließend wurden die definierten ESIMAS-Maßnahmen im Hinblick auf die Aufgabenbereiche in übergeordneten Kategorien zusammengefasst (Tabelle 1).

Tabelle 1: Kategorisierung der ESIMAS-Maßnahmen.

Kategorie:	ESIMAS – Maßnahmenkatalog (Beispiele)
Aufmerksamkeitslenkung	Videobeobachtung, Lageerfassung, Situationsabhängige Maßnahmen ergreifen
Steuerungsaufgaben Betriebs-technik	Maximale Tunnelbeleuchtung, Ereignisabhängiges Lüfterprogramm, Überprüfung der automatischen Tunnelsteuerungen, Betriebstechnik auf Funktion und Sicherheit prüfen
Information Tunnelnutzer	Schaltung von entsprechenden Warnhinweisen (Anzeigetafeln), Durchsage Verkehrsfunk, Lautsprecherdurchsage, Beteiligte Tunnelnutzer ansprechen
Steuerungsaufgaben Verkehrstechnik	Geschwindigkeitsreduzierungen (nach Verkehrsprogramm), Fahrstreifensperrung
Informationsweitergabe	Voralarmierung entsprechender Einsatzdienste, Alarmierung entsprechender Einsatzdienste, Freigabe nach Ereignisbehebung und Abstimmung mit den Einsatzdiensten
Rücknahme	Maßnahmenrücknahme

Aus den relevanten Einzelmaßnahmen pro Ereignis wurden anschließend abgestimmte gebündelte Maßnahmenpakete entwickelt. Diese setzen sich aus mehreren Einzelmaßnahmen zusammen und können über mehrere Stufen verfügen. Für jeden ermittelten Stör- oder Notfall wurden eigene Maßnahmenpakete entwickelt. Die Maßnahmenpakete enthalten sämtliche relevante Einzelmaßnahmen, die aus der Analyse der AGAP hervorgegangen sind.

Zusätzlich wurden folgende Stufen der Maßnahmenpakete entwickelt:

- **Stufe 0:**

Maßnahmen, die unabhängig von Schweregrad oder Ereignisort vorgeschlagen werden. Diese Maßnahmen werden beim Auftreten eines Ereignisses immer empfohlen, unabhängig von anderen Einflussgrößen oder der Intensität des Stör- oder Notfalls.

- **Stufen 1 bis 4:**

Maßnahmenpakete, die unter Berücksichtigung von Schweregrad und Ereignisort vorgeschlagen werden.

Jedes Maßnahmenpaket enthält immer mindestens die Stufe 0. Je nach Ereignisintensität oder Ereignisort werden vom ESIMAS zusätzlich Maßnahmen der Stufen 1 bis 4 vorgeschlagen. Die Intensität leitet sich vom ermittelten Risiko für die Fahrtrichtung ab. Im Ereignisfall sollen dem Operator diese Maßnahmenpakete, die die relevanten Einzelmaßnahmen enthalten, direkt empfohlen werden, damit dieser nicht aus der Vielzahl von Einzelmaßnahmen auswählen muss. Tabelle 2 zeigt exemplarisch den Aufbau eines Maßnahmenpakets für das Beispiel Unfall.

Tabelle 2: Exemplarischer Aufbau des Maßnahmenpaketes für das Ereignis Unfall.

Stufe	Details	Handlungsempfehlung (Maßnahmen) für Unfall
0	Maßnahmen unabhängig vom Schweregrad	Videobeobachtung, Lageerfassung Maximale Tunnelbeleuchtung
1	Unfall-Fahrzeug auf Seitenstreifen	Geschwindigkeitsreduzierung
2	Unfall-Fahrzeug auf Fahrstreifen	Situationsabhängige Maßnahmen ergreifen (Beobachtung auf Entstehungsbrand) Fahrstreifensperrung Beteiligte Tunnelnutzer ansprechen Schaltung von entsprechenden Warnhinweisen (Anzeigetafeln) Durchsage Verkehrsfunk, Lautsprecherdurchsage Alarmierung entsprechender Einsatzdienste (Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst) Alarmierung entsprechender Betriebsdienste Alarmierung zuständiger Firmen (ggf. Abschleppdienst) Maßnahmenrücknahme
3	Unfall-Fahrzeug auf mehreren Fahrstreifen	Situationsabhängige Maßnahmen ergreifen (Beobachtung auf Entstehungsbrand) Fahrtrichtungssperrung Beteiligte Tunnelnutzer ansprechen Schaltung von entsprechenden Warnhinweisen (Anzeigetafeln) Durchsage Verkehrsfunk, Lautsprecherdurchsage Alarmierung entsprechender Einsatzdienste (Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst) Alarmierung entsprechender Betriebsdienste Alarmierung zuständiger Firmen (ggf. Abschleppdienst) Freigabe nach Ereignisbehebung und Abstimmung mit Einsatzdiensten Maßnahmenrücknahme
4	Schwerer Unfall mit hohem Schaden	Situationsabhängige Maßnahmen ergreifen (Beobachtung auf Entstehungsbrand) Tunnelsperrung Beteiligte Tunnelnutzer ansprechen Schaltung von entsprechenden Warnhinweisen (Anzeigetafeln) Durchsage Verkehrsfunk, Lautsprecherdurchsage Alarmierung entsprechender Einsatzdienste (Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienst) Alarmierung entsprechender Betriebsdienste Alarmierung zuständiger Firmen (ggf. Abschleppdienst) Freigabe nach Ereignisbehebung und Abstimmung mit Einsatzdiensten Maßnahmenrücknahme

6.3 Expertensystem für die Auswahl von Maßnahmen und Strategien

Auf der Grundlage des AP 3 „Sicherheitsanalyse und Risikobewertung“ (Kapitel 5) wurde ein Konzept für ein Expertensystem für den vorliegenden Anwendungsfall entwickelt und der zusammengestellte Maßnahmenkatalog integriert. Mit Hilfe des Expertensystems werden somit in Abhängigkeit der Randbedingungen des Demonstrators (Kapitel 7) (insbesondere der betriebstechnischen Ausstattung) rechnergestützt geeignete Maßnahmen bzw. Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr abgeleitet. Das Expertensystem wurde so aufgebaut, dass sowohl Maßnahmen zur Vermeidung von Ereignissen („präventive“ Maßnahmen) als auch Strategien zur Schadensbegrenzung nach eingetretenen Ereignissen („reaktive“ Maßnahmen) behandelt werden. Beispiele präventiver Maßnahmen sind z.B. situationsabhängige Geschwindigkeitsbegrenzungen oder Verkehrsbeschränkungen. Als reaktive Maßnahme kommen einerseits Sperr- und Umleitungsmaßnahmen in Betracht; andererseits sollen aber auch die Möglichkeiten zur Optimierung betrieblicher Prozessabläufe zur Erhöhung der Sicherheit untersucht werden.

Das Expertensystem zur Auswahl von präventiven und reaktiven Maßnahmen als Reaktion auf ein erhöhtes Gesamtrisiko umfasst ein dreistufiges Vorgehen:

- Zunächst wird aufgrund der aktuellen Risikoanalyse eine Problemsituation erkannt.
- Dies führt zur detaillierten Überprüfung der Situation durch das System. Dabei werden weitere Bedingungen geprüft, um zu ermitteln, wodurch die Erhöhung des Risikos bedingt ist und mit welchen Maßnahmen der Erhöhung entgegengesteuert werden kann.
- Von den möglichen Maßnahmen werden dann die Maßnahmen ausgewählt, die aktuell technisch umgesetzt werden können (keine Störung der Aktorik) und die auf Grund der Restriktivität ausreichen sollten, das Gesamtrisiko entsprechend zu reduzieren.

Das System ist in die folgenden drei funktionalen Komponenten unterteilt:

- Situationsanalyse,
- Maßnahmenwahl und
- Maßnahmenharmonisierung.

6.3.1 Situationsanalyse

Den logischen Startpunkt des Expertensystems bildet die Situationsanalyse. Diese prüft in regelmäßigen Zeitintervallen von 15 Sekunden die aktuelle Risikobewertung des Tunnels und gewährleistet, dass Handlungsbedarfe automatisch und frühzeitig erkannt werden. Wenn ein Ereignis durch einen Sensor direkt detektiert wird oder wenn die aktuelle Risikobewertung von Tunnel (-abschnitten) vorgegebene Schwellenwerte überschreitet, wird eine Maßnahmenauswahl getroffen.

Neben dem aktuellen Ergebnis der Risikoanalyse, den Risiken für die einzelnen betrachteten Initialereignisse, werden über die Situationsanalyse in regelmäßigen Zeitintervallen weitere Parameter abgefragt, die zur Auswahl geeigneter Maßnahmen benötigt werden. Dies umfasst z. B. die folgenden Parameter:

- Eintrittswahrscheinlichkeit der einzelnen berücksichtigten Initialereignisse, z. B. p_{Unfall} ,
- Eintrittswahrscheinlichkeiten aufgrund der Einzelparameter, die zur Ermittlung der fusionierten Eintrittswahrscheinlichkeiten genutzt werden, z. B. p_{Unfall} aus dem Ereignis „Liegenbleiber“,
- berechnetes Ausmaß für die einzelnen betrachteten Initialereignisse,
- aktuelle Werte der Parameter, die die Ausmaßberechnung beeinflussen (z. B. Lkw-Anteil),
- aktuelle Ergebnisse der Fehlerbaumanalyse bzw. Werte der Parameter, die in der Fehler-

baumanalyse berücksichtigt werden.

Der Situationsanalyse stehen damit die Ergebnisse, die Teilergebnisse und Eingangsgrößen der Risikoanalyse zur Bewertung der aktuellen Situation zur Verfügung. Die von der Situationsanalyse abgefragten Parameter werden dann von der Maßnahmenwahl zur Entscheidungsfindung verwendet.

6.3.2 Maßnahmenwahl

Die Maßnahmenwahl ermittelt,

- ob aufgrund der aktuellen Risikobewertung Maßnahmen zu ergreifen sind und wenn ja,
- welche Maßnahmen geeignet sind, um das Risiko zu verringern.

Die Maßnahmenwahl basiert auf einem Workflowsystem [5][5]. Über dieses wird der Ablauf zur Prüfung der aktuellen Situation und der darauf aufbauenden Entscheidungsfindung ein Vorschlag für Maßnahmen definiert. Dabei wird mit der Definition von konkreten Workflows festgelegt, welche Parameter aus der Situationsanalyse abgefragt und gegebenenfalls gegen Schwellenwerte geprüft werden. Das Workflowsystem bietet die Möglichkeit, Workflows flexibel und eigenständig zu definieren und beliebige im System vorhandene Parameter zur Entscheidungsfindung zu nutzen. Diese Workflows des Expertensystems sind so zu definieren, dass durch die Überprüfung verschiedener Parameter die Gründe für die Erhöhung des aktuellen Risikos möglichst genau identifiziert werden können. Die genaue Kenntnis über die Gründe für die Risikoerhöhung ermöglicht dann Auswahl und Umsetzung von geeigneten Gegenmaßnahmen.

Für das Expertensystem werden die Workflows nach dem folgenden Schema definiert: Wird über die Situationsanalyse festgestellt, dass das Risiko für eines oder mehrere der definierten Initialereignisse im Tunnel erhöht ist, erfolgt zunächst die Ermittlung der Ursache für die Erhöhung des Risikos. Dabei erfolgt für jedes berücksichtigte Initialereignis eine spezifische Überprüfung der relevanten Parameter. Für verschiedene Ereignisse existieren vordefinierte Maßnahmenpakete. Aus dem Portfolio dieser Maßnahmenpakete wird nun, abhängig von der vorangegangenen Parameterprüfung, ein für die erkannte Risikosituation geeignetes Maßnahmenpaket ausgewählt. Die Maßnahmenpakete können mehrere definierte Maßnahmenstufen enthalten, die je nach Intensität des detektierten Ereignisses zum Einsatz kommen. Jede Stufe wiederum besteht aus einer Zusammenstellung von Einzelmaßnahmen (z. B. Schaltung von Warnhinweisen, Lüftungsprogrammen, Geschwindigkeitsbeschränkungen, Fahrstreifen-, Fahrtrichtungs- oder Tunnelsperrungen etc.).

Über den jeweiligen Workflow ist definiert, in welcher Situation, also bei welcher Parameterlage in Bezug zu gesetzten Schwellenwerten, welche Stufe eines Maßnahmenpaketes anzuwenden ist. Die daraus resultierende Auswahl einer Maßnahmenstufe eines Maßnahmenpaketes wird dann an die Maßnahmenharmonisierung weitergeleitet.

6.3.3 Maßnahmenharmonisierung

Mithilfe der Maßnahmenharmonisierung soll entschieden werden, inwieweit verschiedene Maßnahmen miteinander vereinbar sind. Der Ablauf der Maßnahmenharmonisierung ist in Abbildung 19 dargestellt und wird im Folgenden näher beschrieben.

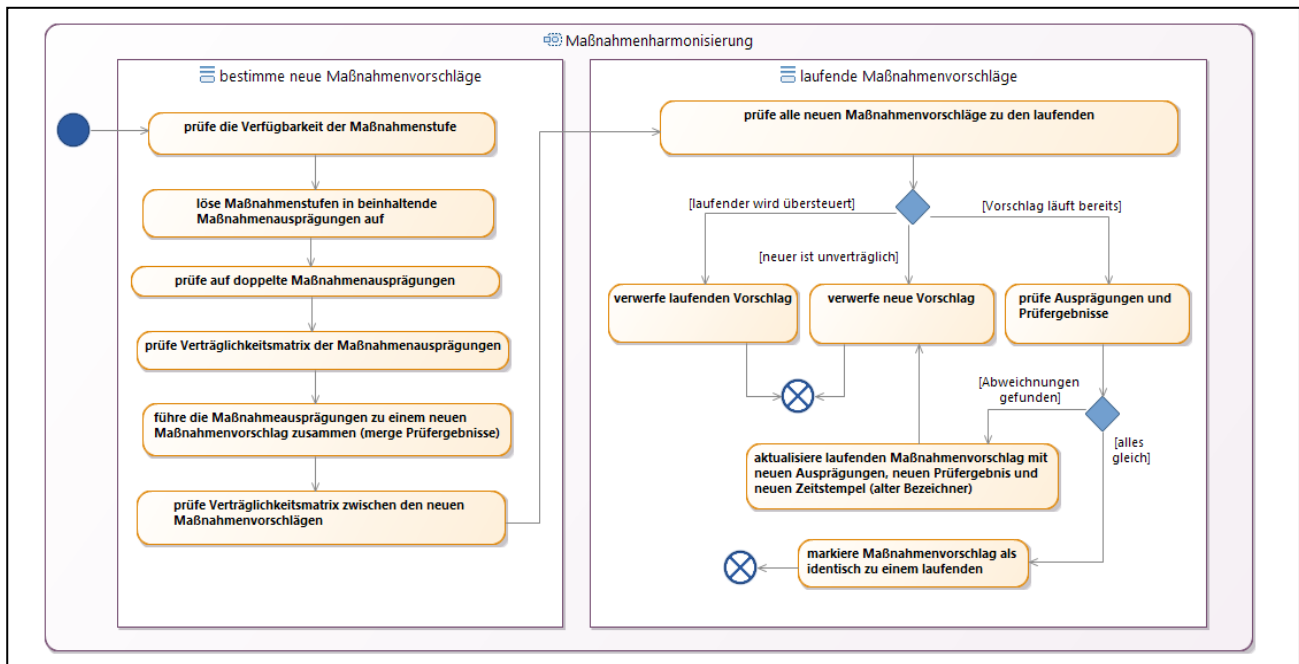


Abbildung 19: Ablaufdiagramm der Maßnahmenharmonisierung.

Im ersten Schritt der Maßnahmenharmonisierung wird die Durchführbarkeit eines neu ausgewählten Maßnahmenpakets überprüft. Dies verlangt, dass die Verfügbarkeit der bestimmten Maßnahmenstufe ermittelt wird.

Im zweiten Schritt erfolgt ein Abgleich von eventuell gleichzeitig ausgelösten Maßnahmenpaketen. Dazu wird die jeweilige Maßnahmenstufe logisch in ihre Einzelmaßnahmen aufgelöst und zunächst auf doppelte Einträge geprüft. Mithilfe einer Verträglichkeitsmatrix wird dann kontrolliert, ob sich Einzelmaßnahmen gegenseitig ausschließen.

Die verbleibenden Einzelmaßnahmen werden sodann zu einem neuen Maßnahmenvorschlag zusammengefasst. Dieses muss nun mit gegebenenfalls bereits aktuell laufenden Maßnahmenvorschlägen auf Verträglichkeit geprüft werden. Hierbei besteht die Möglichkeit, dass neue Vorschläge laufende übersteuern, diese zueinander unverträglich sind oder ein neuer Vorschlag bereits läuft. Falls ein laufender Vorschlag durch einen neuen übersteuert wird, ist der laufende Vorschlag zu verwerfen und der neue durchzuführen. Sollten die Vorschläge zueinander unverträglich sein, wird der neue Vorschlag verworfen und der alte Vorschlag beibehalten. Falls ein neuer Vorschlag bereits läuft, wird überprüft, ob Unterschiede in den Einzelmaßnahmen und Prüfergebnissen vorhanden sind und entsprechend dem aktuellen Maßnahmenvorschlag angepasst oder der neue Vorschlag als identisch zum laufenden markiert.

Als Ergebnis dieser beschriebenen Schritte steht ein aktueller Maßnahmenvorschlag, der basierend auf der derzeitigen Risikolage mittels der ESIMAS-GUI an die Operatoren übermittelt wird. Bestandteil der definierten Workflows ist auch die fortlaufende Überprüfung hinsichtlich der Notwendigkeit eines einmal ausgegebenen Maßnahmenvorschlags. Dabei wird zum einen überprüft, ob die zur Generierung eines Maßnahmenvorschlags ausschlaggebende Risikosituation noch Bestand hat. Zum anderen sind jedem Maßnahmenpaket dedizierte Mindeststandzeiten zugewiesen. Stellt die Situationsanalyse fest, dass die Bedingungen, die zu einem Maßnahmenvorschlag geführt haben, nicht mehr erfüllt werden, dann wird im nächsten Schritt überprüft, ob die zugeordnete Mindeststandzeit überschritten ist. Wenn auch letzteres der Fall ist, sendet das Expertensystem eine Empfehlung zur Rücknahme des Maßnahmenvorschlags an die ESIMAS-GUI, bzw. den bedienenden Operatoren.

Bei der Konzeption des Expertensystems wurde als Rahmenbedingung des Projektes berücksichtigt, dass aus diesem heraus keine direkte Schaltung von Maßnahmen erfolgt. Stattdessen werden vom Expertensystem Maßnahmenvorschläge generiert, die dem Operator über die innerhalb des

bestehenden Leitstellensystems realisierte ESIMAS-GUI unterbreitet werden. Der Operator hat dann die Möglichkeit, den Maßnahmenvorschlag anzunehmen und über das bestehende Leitstellensystem die Umsetzung der Maßnahmen zu veranlassen.

6.4 Softwaretechnische Umsetzung und Integration des Expertensystems in das Prozessleitsystem

Das zuvor konzeptionell erarbeitete Expertensystem wurde im Rahmen dieser Aufgabe in ein Softwaremodul umgesetzt. Danach erfolgte die Integration des Expertensystems in die Prozesssoftware. Hierbei sind die benötigten Schnittstellen so realisiert worden, dass eine konfliktfreie Integration des Expertensystems in den Demonstrator möglich war.

Das sogenannte „Kernmodul“ enthält die notwendigen Definitionen der einzelnen Objekte. Dies beinhaltet sowohl allgemeine für den Workflow relevante Klassen als auch Klassen zur Speicherverwaltung, Interaktion und zur Datenbankverwaltung. Die allgemeinen Klassen behandeln die Beschreibungen des Tunnels mit anhängigen Objekten, wie zum Beispiel der „Berechnungssegmente“ und „Elemente“, sowie die Beschreibung der für den Workflow nötigen Klassen, dargestellt in Abbildung 20.

Einzelne Maßnahmenpakete beinhalten eine oder mehrere Maßnahmenstufen. Diese bestehen wiederum aus verschiedenen Maßnahmenausprägungen (Einzelmaßnahmen), die entsprechende allgemeine Maßnahmen unterschiedlich präzisieren können. In diesem Zusammenhang wird auch die Unverträglichkeit einzelner Maßnahmen bzw. Maßnahmenausprägungen untereinander berücksichtigt. Aus einer Maßnahme ergeben sich im Kontext eines Tunnels verschiedene Maßnahmenkonkretisierungen, woraus schlussendlich die Maßnahmenvorschläge für den Operator gebildet werden können.

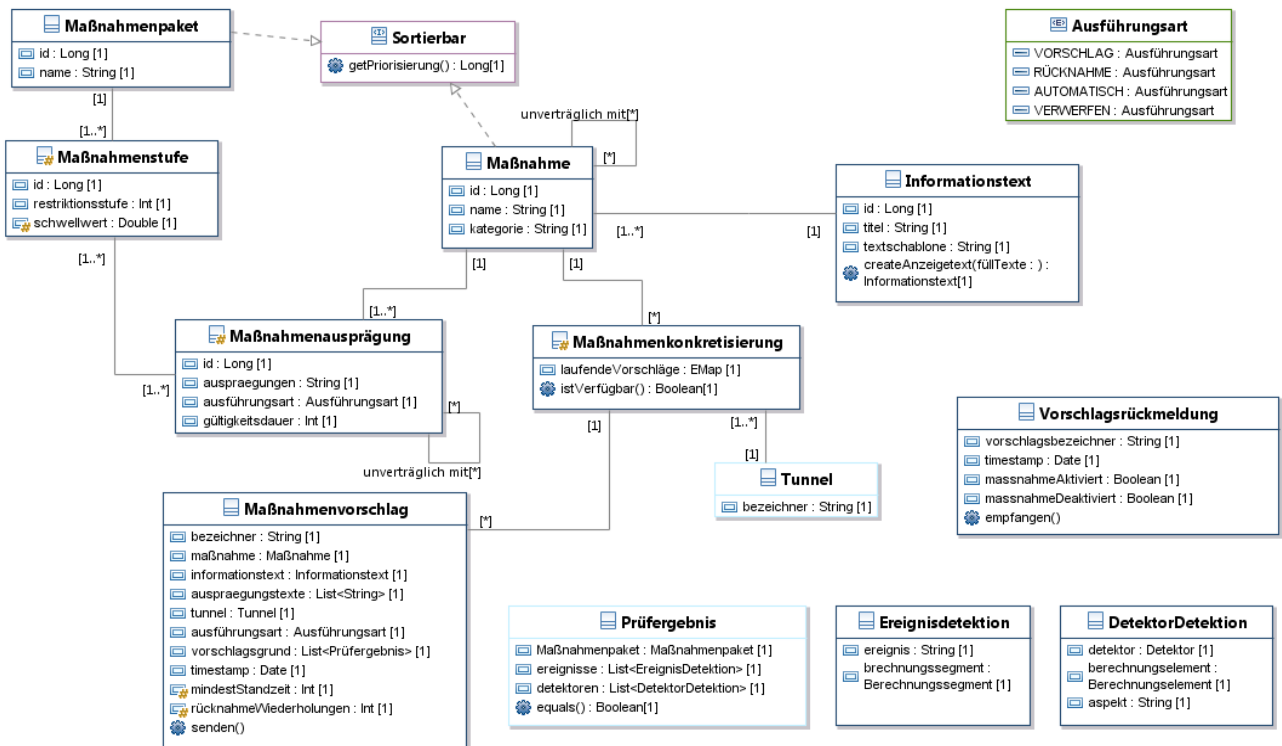


Abbildung 20: Klassen für die Ermittlung von Maßnahmenvorschlägen.

6.5 Zusammenfassung zu Maßnahmen und Handlungsempfehlungen

Auf der Grundlage einer Literaturrecherche und einer Analyse von AGAP aus unterschiedlichen Tunnelleitzentralen konnte für das ESIMAS ein Maßnahmenkatalog mit unterschiedlichen ereignisabhängigen Maßnahmenpaketen entwickelt werden, die vom Expertensystem auf Basis einer Online-Risikoanalyse zur Reduzierung des Gesamtrisikos im betrachteten Tunnel vorgeschlagen werden. Bei den vorgeschlagenen abgestimmten Maßnahmen handelt es sich um Kombinationen aus im Vorfeld definierten Einzelmaßnahmen, die zum einen präventiv (zur Vermeidung von Ereignissen) und zum anderen reaktiv (nach dem Eintritt von Ereignissen zur Reduzierung der Auswirkungen) wirken und dem Operator als Handlungsempfehlung auf der Benutzeroberfläche von ESIMAS erscheinen. Die softwaretechnische Umsetzung und die Integration in das Prozessleitsystem konnte im Rahmen von ESIMAS erfolgreich durchgeführt werden. Das Expertensystem schlägt dem Operator die Umsetzung von Handlungsempfehlungen vor, leitet diese aber nicht automatisch ein, wäre aber technisch realisierbar.

Da die Handlungsempfehlungen unter Berücksichtigung des ganzheitlichen Sicherheitsniveaus eines Tunnels vorgeschlagen werden, bekommt der Operator nur eine Liste mit bereits priorisierten Handlungsempfehlungen obwohl mehrere Ereignisse oder Risikosituationen vorliegen können. Hierdurch bleibt die Ereignisbewältigung übersichtlich und strukturiert, Dopplungen werden vermieden. Gleichzeitig dienen die Handlungsempfehlungen als Checkliste ob alle notwendigen Maßnahmen eingeleitet wurden und vor allem, ob diese nach Ereignisbewältigung wieder zurückgenommen wurden um den Regelbetrieb schnellstmöglich wieder aufnehmen zu können. Der größte Vorteil der durch das Expertensystem gegebenen Handlungsempfehlungen liegt jedoch im Zeitgewinn, da diese bereits bei der Detektion angezeigt werden und sofort durch den Operator umgesetzt werden können.

Der im Rahmen des Projektes entwickelte Maßnahmenkatalog sowie die darauf aufbauenden Maßnahmenpakete können durch die Betreiber von Straßentunneln individuell angepasst werden und somit in das Ereignismanagement übernommen werden, oder diesem als Grundlage dienen.

7 Demonstration

7.1 Allgemeines

Das folgende Kapitel beschreibt zusammenfassend die Demonstration des entwickelten ESIMAS-Prototypen an einem realen Bauwerk. Im Rahmen von AP 5 „Demonstration“ wurden die Ergebnisse der vorangegangenen und parallel verlaufenden Arbeitspakete von ESIMAS zusammengeführt. Die Detektionstechnologien wurden in einem Demonstrationstunnel, der EGH im Zuge der BAB A3 in Nordbayern eingebaut und das Gesamtsystem in der VBZ Nordbayern in Nürnberg-Fischbach getestet.

Durch die Demonstration des zuvor theoretisch entwickelten ESIMAS konnte dessen Wirksamkeit unter Beweis gestellt werden. Durch die Einbeziehung eines Betreibers bei der Umsetzung und Einführung des Systems wurde dessen Anwendbarkeit im täglichen Leitstellenbetrieb nachgewiesen. Das in der Praxis erprobte System konnte an die individuellen Bedürfnisse des Betreibers angepasst werden.

Nach Einbau, Inbetriebnahme, Erprobung mit Funktionsanalyse und resultierender Optimierung des ESIMAS-Prototypen wurde die so erreichte Funktionalität für die verschiedenen Verkehrs- und Betriebszustände demonstriert. Durch eine fortlaufende Auswertung der im Rahmen der Betriebsphase erfassten Daten (ereignisbezogene Daten und Verkehrsdaten) wurde der ESIMAS-Prototyp kontinuierlich auf die Gegebenheiten der EGH angepasst.

Weiterhin wurde ein Nachnutzungskonzept für eine Langzeiterprobung des ESIMAS über das Projektende hinaus durchgeführt. Resultierend aus der Analyse der Betriebsphase wurden Optimierungsmaßnahmen abgeleitet und für die Umsetzung in einem Nachnutzungskonzept definiert.

Alle Arbeitsschritte der Demonstration sind ausführlich im Bericht des AP 5 beschrieben (siehe Anhang 5 [6]).

7.2 Planung, Installation und Integration der Teilsysteme am Demonstrator

Im Rahmen der Planung erfolgte die Abstimmung mit dem Betreiber der Autobahndirektion Nordbayern (ABDNB) über die Nutzung der EGH zu Demonstrationszwecken.

Gemeinsam wurde der genaue Testbereich ausgewählt und die möglichen Detektionsstandorte für die in ESIMAS benötigte Ausstattung am Bauwerk festgelegt (Abbildung 21). Weiter erfolgte die Abstimmung über die Integration und Implementierung des Expertensystems in die bestehende Systemumgebung der Tunnelleittechnik, sowie über den Aufbau des ESIMAS-Arbeitsplatzes in der VBZ Nordbayern.

Als Demonstrationsbereich wurde die Tunnelröhre der westlichen Nordröhre in Fahrrichtung Frankfurt festgelegt. Dieser ca. 1,3 km lange Bereich wurde als besonders geeignet identifiziert, da auch besondere Aspekte, wie sich ändernde Querschnitte sowie im Tunnelverlauf liegende Zu- und Abfahrten vorhanden sind.

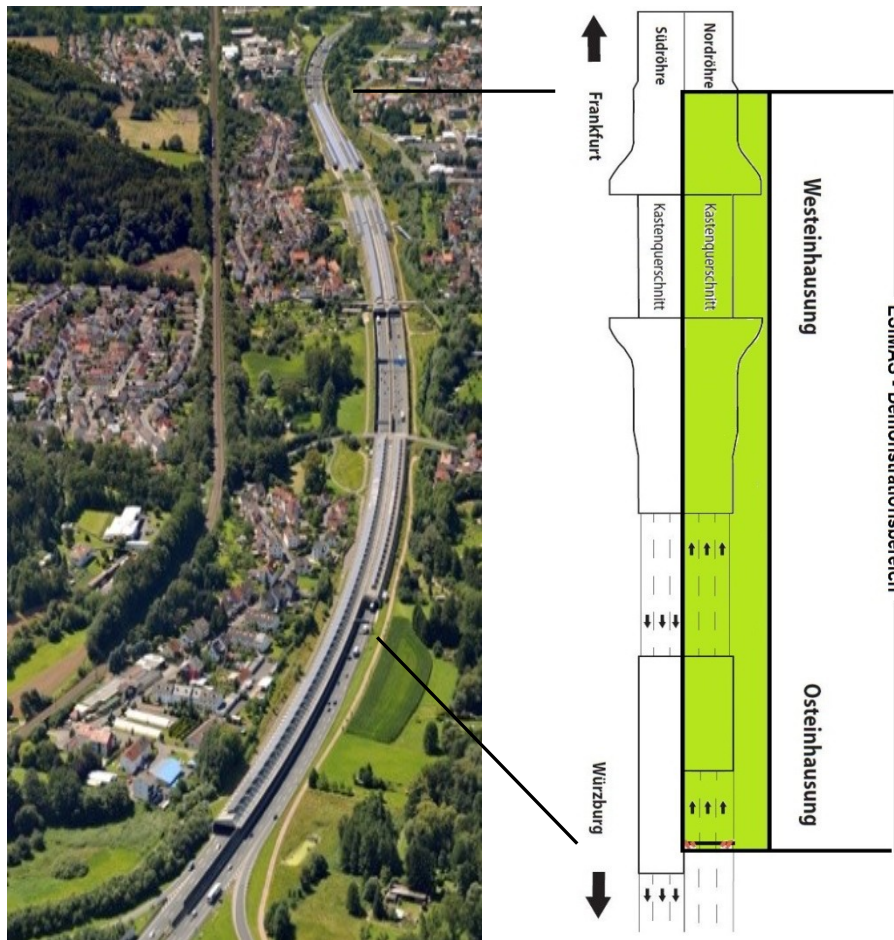


Abbildung 21: Demonstrationbereich von ESIMAS in der westlichen Nordröhre der EGH in Hösbach.

Im Rahmen des Projektes wurden die in AP1 (Kapitel 3) beschriebenen innovativen Detektionssysteme mit folgenden Komponenten installiert (Tabelle 3):

Tabelle 3: Komponente der einzelnen Detektionstechnologien.

Erfassung überhitzter Fahrzeuge	Innovative Störfalldetektion		Videodetektion
<ul style="list-style-type: none"> • 2x Infrarotkamera (DIAS Infrared) • 2x Videokamera (Mobotix) • Laserscanner (SICK) • Schaltschrank zur Stromversorgung und Datenübertragung • Server zur Datenzusammenführung und Weitergabe an ESIMAS 	Induktionsschleifentechnik	WIM-Technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzung vorhandener Videokameras der EHG • Server, aktive Video-weiche, Hochleistungsrechner zur Bildauswertung und Datenübertragung
	<ul style="list-style-type: none"> • 14x Doppelinduktionsschleifen gemäß TLS Typ 2 • 3x Auswerteeinheit Doppelinduktionsschleifen mit Stromversorgung und Datenübertragung 	<ul style="list-style-type: none"> • 4x Lineas-Quarzsensoren (Kistler) • Doppelinduktionsschleife • kombinierte Auswerteeinheit WIM-Sensor und Doppelinduktionsschleife mit Stromversorgung und Datenübertragung 	
	<ul style="list-style-type: none"> • Server zur Datenzusammenführung und Weitergabe an ESIMAS 		

Die Installation der Teilsysteme wurde parallel zur sicherheitstechnischen Nachrüstung der EGH durchgeführt.

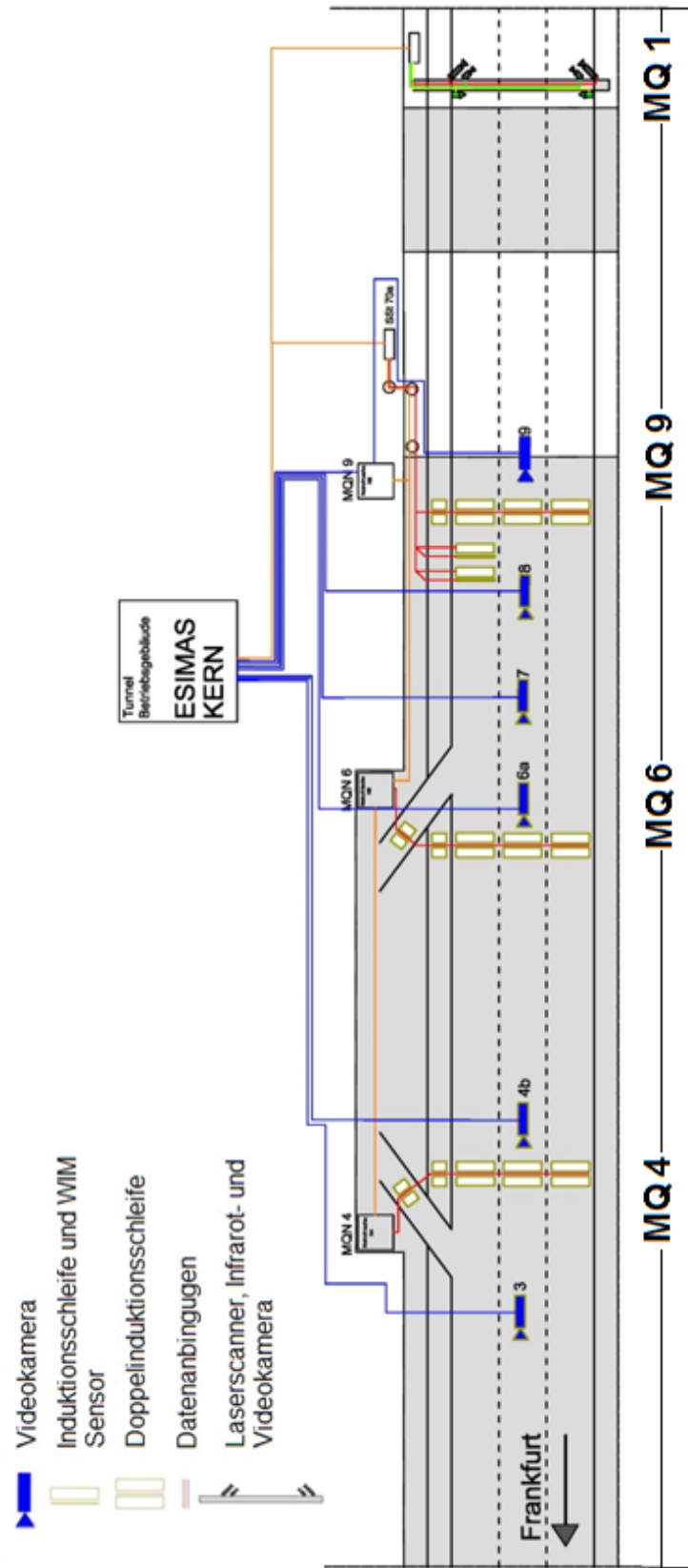


Abbildung 22: Schematischer Aufbau des ESIMAS-Prototypen.

Außerhalb und vor der Einhausung erstreckt sich der Demonstrationsbereich bis zur ersten Wechselverkehrszeichenbrücke ca. 800 m vor der EGH (Nord-Ost), an der das System zur Erfassung von überhitzten Fahrzeugen installiert wurde (Messquerschnitt 1, Abbildung 22, rechts). Hierzu erfolgte die Installation von zwei verschiedenen Arten von Infrarotkameras, zusammen mit einer Videokamera am äußeren Pfosten der Wechselverkehrszeichenbrücke. Eine zweite Videokamera wurde am Geländer neben dem Installationsschrank auf der Wartungsbrücke angebracht. Die Laserscannereinheit wurde am Balken der Wechselverkehrszeichenbrücke über den Hauptfahrsteifen installiert.

Für den Aufbau der innovativen Störfalldetektion mittels Induktionsschleifen und WIM-Technologie erfolgte der Einbau von Doppelinduktionsschleifen in die Fahrbahnoberfläche an 3 Standorten im Abstand von ca. 300 m und eines WIM-System an der EGH (Abbildung 22, Messquerschnitte N4 – N9) und bildet somit 2 Messbereiche aus, innerhalb das System demonstriert wurde.

Für die Videodetektion könnten die vorhandenen Videokameras in der EGH genutzt werden. Hierzu wurde eine Auswahl geeigneter Videokameras (Abbildung 22) der EGH nach Prüfung der Standorte, der Lichtverhältnisse und der Bildqualität getroffen.

Nach der Entwicklung und Installation der Detektionssysteme, des ESIMAS-Kerns (Server und Software zur Datenfusion und Risikobewertung) und der Mensch-Maschine-Schnittstelle konnte deren Anbindung an die Tunnelleittechnik erfolgen. Die Anbindung der Detektionssysteme erfolgte in der Automatisierungsebene des Leitsystems über deren entsprechende Steuereinheiten in den LWL-Ring das durch die ABDNB neu aufgebaut und zur Verfügung gestellt wurde. Die Datenübertragung der Teilsysteme an den ESIMAS-Kern erfolgte über die vorhandene Tunnelleittechnik in der Automatisierungsebene. Die Kommunikation zwischen den einzelnen Systemen erfolgte durch den Einsatz der standardisierten „WanCom“ Schnittstelle. Die Visualisierung der Bedienoberfläche durch die Mensch-Maschine-Schnittstelle in der VBZ Nordbayern erfolgte über die neu entwickelte OPC-DA-Schnittstelle [2], mit der die Daten zwischen Automatisierungsebene und übergeordneter Leitebene ausgetauscht werden können.

7.3 Testphase

Die Testphase unterteilte sich in zwei Bereiche. Zuerst fand eine Einzeltestphase statt, in der die einzelnen Systemkomponenten voneinander unabhängig und ausführlich getestet wurden. Da es sich um gänzlich neue und weiterentwickelte Technologien handelte mussten umfangreiche Parametrisierungen, Kalibrierungen und Feinjustierungen vorgenommen werden. Anders als bei der Installation konventioneller Technologien im Tunnel, die zumeist nur eine Funktion erfüllen, war dies bei den drei Detektionstechnologien in ESIMAS die mehrere Aufgaben erfüllen sollten und erstmalig in ihrer Ausprägung verwendet wurden dementsprechend mit einem höheren Aufwand verbunden. Am Ende der Einzeltestphase wurden die Detektionstechnologien einer Funktionsüberprüfung durch Testszenarien unterzogen. Diese dienten der Funktionsüberprüfung und der Kalibrierung der Teilsysteme, deren Anpassung an die Gegebenheiten der EGH, sowie der Festlegung von Schwellenwerte zur Erfassung der verschiedenen Ereignisse (z.B. „Langsamfahrer“, „kritische Temperatur“). Hierzu wurden die in Tabelle 4 aufgeführten Testszenarien in und vor der EGH durchgeführt, protokolliert und ausgewertet.

Tabelle 4: Leistungsbild der Detektionstechnologien von ESIMAS und die Testszenarien zur deren Kalibrierung.

Einzeltechnologie Leistungsbild	Erfassung überhitzter Fahrzeuge	Intelligente Störfalldetektion	Videodetektion
Detektierbare Ereignisse/ Ereignisursachen mit ent- sprechenden Meldungen und Alarmen durch das Teilsystem	Alarmer (ereignisgesteuert) • Voralarm „Überhitztes Fahrzeug“ • Alarm „Überhitztes Fahrzeug“	Alarmer (ereignisgesteuert) • Liegenbleiber im Tunnel- abschnitt • auffälliger Langsamfahrer im Tunnelabschnitt • „Lokaler Stau“ am Mess- querschnitt • Falschfahrer am Mess- querschnitt • auffälliger Langsamfahrer am Messquerschnitt Meldungen (zyklisch, Minu- tenwerte): • lokale Verkehrsstärke PKW am Messquerschnitt • lokale Verkehrsstärke LKW am Messquerschnitt • lokale Geschwindigkeit PKW am Messquerschnitt • lokale Geschwindigkeit LKW am Messquerschnitt Meldungen (ereignisgesteuert): • Gewicht der LKWs am WIM-Messquerschnitt	Alarmer (ereignisgesteuert) • Liegenbleiber • Langsamfahrer • Personen auf der Fahr- bahn • Falschfahrer • Seitenstreifen belegt • Rauch/Brand* • Stau*
Testszenario	• Überhitztes Fahrzeug	• Langsamfahrer • Liegenbleiber • Falschfahrer	• Langsamfahrer • Liegenbleiber • Falschfahrer • Personen auf der Fahr- bahn
Weitere zu prüfende Pa- rameter	• Fahrzeugklassifizie- rung • Fahrzeugabmessung • Fahrtrichtung • Fahrzeuggeschwindig- keit • Festlegung der Schwellenwerte	• Verkehrsdaten je Minute • Erkennung und anschlie- ßende Gesamtgewichtser- mittlung von LKWs • Festlegung der Schwel- lenwerte	• Festlegung der Schwel- lenwerte

* Wurde nicht getestet

In der anschließenden Gesamttestphase wurde der ESIMAS-Prototyp im Testbetrieb gestartet und die Anpassungen von den Partnern mit ihrem jeweiligen Teilsystem auch weiterhin kontinuierlich fortgeführt. Hierzu wurden von den Partnern an ihren Teilsystemen fortlaufend Parametrisierungen durchgeführt, wodurch die Sensibilität der Detektionssysteme mit entsprechenden Grenzwerten der Meldungen und Anzeigen des Systems an die individuellen Vorstellungen der Operatoren angepasst wurden. Die Gesamttestphase umfasste alle Verkehrs- und Betriebszustände, wie sie in einem späteren Regelbetrieb auftreten können. Im Zuge der Gesamttestphase wurde das System schrittweise so kalibriert, dass ein handhabbares Maß an plausiblen Meldungen generiert wurde, die Sensibilität des Systems angemessen war und keine unnötigen Fehlmeldungen erzeugt wurden. Grundlage für die Kalibrierung bildeten zum Einen die Beobachtungen und Eindrücke der Operatoren, zum Anderen wurden bestimmte Situationen durch Vergleich der berechneten Risikowerte mit den zugehörigen Aufnahmen der Videoüberwachung und Meldungen der Detektionssys-

teme auf Plausibilität geprüft. Nachdem dieser Schritt vollzogen war, konnte das System in die Betriebsphase durch permanente Aufschaltung in der VBZ Nordbayern parallel zum laufenden Betrieb übernommen werden.

7.4 Betriebsphase

In der Betriebsphase konnte aufgrund der ausführlichen Testphase eine gute Funktionalität des Systems erreicht werden und es konnten weiterhin Feinjustierungen vorgenommen werden. Hierzu wurden unter anderem reale Verkehrs- und Ereignisdaten dokumentiert und analysiert, um die Sensibilität des Gesamtsystems zu optimieren. Bis zuletzt wurden die aus der Betriebsphase gewonnenen Daten ausgewertet und zur Verbesserung des Systems herangezogen. Auch anhand der Bewertung der Operatoren wurden entsprechende Anpassungen des ESIMAS durchgeführt. Zudem war es erforderlich das System in der Betriebsphase so auszureifen, dass es in eine Nachnutzung durch den Betreiber überführt werden konnte.

Abbildung 23 zeigt die VBZ Nordbayern in Fischbach. Direkt rechts neben der Videoleinwand befindet sich ein separater Monitor auf dem kontinuierlich die ESIMAS-GUI aufgeschaltet ist.



Abbildung 23: Operatorenarbeitsplätze in der VBZ Nordbayern.

7.5 Analyse der Betriebsphase

Parallel zum Betrieb verlief die Analyse der Betriebsphase. Es wurden wöchentliche Systemauswertungen getätigt sowie die Feedbacks der Operatoren betrachtet, die diese über die extra eingerichtete Feedbackfunktion des Expertensystems, die direkt in die Benutzeroberfläche integriert ist, beurteilen. Dabei wurden alle Störfälle (Risikosituationen und Ereignisse) dokumentiert. Weiter wurden regelmäßige Turnarounds mit den Operatoren durchgeführt. Die Informationen bildeten wiederum die Grundlage für weitere Systemverbesserungen.

Während der Betriebsphase wurden alle detektierten Ereignisse im Tunnel, sowie die Reaktion des Systems auf diese (Darstellung und Bewertung der Sicherheitslage, automatisch generierte Handlungsempfehlungen) und die durch die Operatoren tatsächlich umgesetzten Maßnahmen, dokumentiert und analysiert. Im Fall von Abweichungen ließen sich auch so weitere Verbesserungsmöglichkeiten und Anpassungen ableiten. Es wurde zudem geprüft, ob die ermittelten Daten für die Risikobeurteilung im Tunnel ausreichend waren und ob die zugrunde gelegten Entscheidungsalgorithmen des Expertensystems eine korrekte Risikoeinschätzung wiedergeben.

Durch diese fortlaufende Auswertung der im Laufe der Betriebsphase erfassten Daten (verkehr- und ereignisbezogene Daten) wurde der ESIMAS-Prototyp kontinuierlich auf die Gegebenheiten der EGH angepasst. Dies betraf insbesondere die Zuverlässigkeit und Dynamik der automatischen Detektion von Störfällen in der EGH und die Alarmierung in der VBZ Nordbayern. Die durch das ESIMAS generierten Meldungen auf Risikosituationen wurden besonders auf ihre Plausibilität hin überprüft. Die Bewertung von Risikosituationen stellt dabei eine besondere Herausforderung dar,

da diese außer durch eine konkrete Videobildanalyse im Nachhinein nicht nachvollzogen und bewertet werden können.

7.6 Nachnutzungskonzept

In einer Nachnutzungsphase, die nach Projektende begonnen und bis Ende November 2015 fortgeführt wurde, wurde der aktuelle Status Quo des Expertensystems aufrecht gehalten und weiterhin Daten zur Evaluation protokolliert und ausgewertet. Die Erkenntnisse der Evaluation werden auch in der Nachnutzungsphase weiterhin zur Kalibrierung und Anpassung der einzelnen Erfassungssysteme verwendet.

7.7 Empfehlungen für die Überführung des ESIMAS-Prototypen in den Regelbetrieb

Im Folgenden werden Erkenntnisse aus der Test- und Betriebsphase der Demonstration von ESIMAS beschrieben, die im Rahmen des Projektes gewonnen wurden, jedoch nicht umgesetzt werden konnten. Diese werden als Empfehlungen für einen Übergang in den Regelbetrieb entsprechend der einzelnen Komponenten des Systems aufgeführt.

Detektion überhitzter Fahrzeuge:

Um ausreichende Reaktionszeiten und Handlungsmöglichkeiten zu gewährleisten sollte das Detektionssystem zur Erfassung überhitzter Fahrzeuge mittels Infrarot- und Lasertechnologie an einem geeigneten Ort (möglichst vor einer Ausfahrt) in ausreichender Entfernung vor dem Tunnelportal installiert werden. So besteht die Möglichkeit ein detektiertes überhitztes Fahrzeug vor der Einfahrt in den Tunnel, aus dem Verkehr auszuleiten oder an der Einfahrt in den Tunnel durch Maßnahmen, wie z.B. Einleiten einer Tunnelsperrung, zu hindern.

Videodetektion:

Ziel der Videodetektion war eine verbesserte Ereignisdetektion durch die Nutzung von vorhandenen Videokameras der EGH. Die entsprechenden technischen Voraussetzungen und die Herangehensweise können dem AP 1 Bericht entnommen werden (siehe Anhang 1 [2]). Aufgrund der Tatsache, dass die Bildqualität einiger vorhandener Kameras nicht ausreichend ist um eine Bildauswertung durchzuführen ist die Folge, dass im ESIMAS-Demonstrationsbereich eine flächendeckende Ereignisdetektion nicht gewährleistet ist. Um dies sicher zu stellen, sollte beispielsweise die Einstellung der betroffenen Kameras überprüft werden. Kann die Bildqualität durch Änderung der Einstellungen nicht gesteigert werden, empfiehlt es sich die entsprechenden Kameras zu erneuern. Eine grundsätzliche Erneuerung aller Kameras zur Verwendung der Videodetektion ist nicht erforderlich.

Benutzerschnittstelle:

Die Bedienoberfläche des ESIMAS-Prototypen ist die Schnittstelle zwischen Technik und kognitiver Wahrnehmung der Operatoren. Während der Nutzeranalyse (siehe Anhang 7 [8]) wurde durch die Operatoren die visuelle Bestätigung von Ereignissen als wichtigste Eigenschaft bei der Überwachung von Straßentunneln angegeben. Aus diesem Grund konnte während der Betriebsphase der Demonstration ein Screenshot für Ereignisse die durch die Videodetektion erkannt wurden realisiert werden. Die Anzeige konnte direkt über das bildauswertende System erfolgen. Zur einheitlichen Ereignisdarstellung und zur Nachvollziehbarkeit seitens der Operatoren sollte ebenfalls für die Innovative Störfalldetektion mittels Intelligenter Induktionsschleifentechnik und WIM-Technologie ein Screenshot bei einer Ereignisdetektion erzeugt werden und den Operatoren zur Verfügung gestellt werden. Da von diesem Detektionssystem keine Videobilder zur Verfügung stehen, müsste zur Umsetzung im zentralen Leitsystem eine entsprechende Verknüpfung zwischen Ereignisdetektion der Innovativen Störfalldetektion und der Videoüberwachung erzeugt werden. Während der Betriebsphase konnte dies nicht mehr umgesetzt werden.

Handlungsempfehlungen und Maßnahmen:

Die Handlungsempfehlungen die durch den ESIMAS-Prototyp situationsabhängig angezeigt werden [5] beruhen auf dem im Projekt aufgestellten Muster-Maßnahmenkatalog mit Anpassungen an die EGH. Die Anpassungen beziehen sich im Wesentlichen auf geschaltete Verkehrsprogramme und Telefonnummern von Betriebs- und Einsatzdiensten. Der Inhalt und die Reihenfolge der angezeigten Handlungsempfehlungen können durch die ganzheitliche Betrachtung der Sicherheitslage von den durch den Betreiber verbindlich angegebenen Maßnahmen aus Alarm- und Gefahrenabwehrplänen abweichen. Damit die Handlungsempfehlungen des Expertensystems den gleichen Charakter erhalten wie die verbindlichen Maßnahmen der AGAP sollten diese durch den Betreiber in das vorhandene Ereignismanagement integriert werden.

7.8 Zusammenfassung zur Demonstration

Resultierend aus der Analyse der Betriebsphase wurden Optimierungsmaßnahmen abgeleitet und für die Umsetzung in einem Nachnutzungskonzept definiert. Dennoch konnten alle zu Projektbeginn definierten Ziele erreicht werden. Dieses bestätigt sich auch durch das Feedback der Operatoren, die durch die Unterstützung des ESIMAS bei ihrer täglichen Arbeit einen deutlichen Mehrwert erkannt haben. Um die sich aus dem System ergebenden Potentiale gänzlich auszuschöpfen, finden fortlaufend Anpassungen und Weiterentwicklungen statt.

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Demonstration konnten Empfehlungen zur Anwendung eines ESIMAS im Regelbetrieb gegeben werden. Im Wesentlichen beziehen sich die Empfehlungen auf die Nutzeranforderungen, die sich im Rahmen der Betriebsphase durch die Operatoren ergeben haben. Weiter wurde aus den Erfahrungen zusätzliches Forschungs- und Entwicklungspotential abgeleitet.

8 Empfehlungen / Schlussfolgerungen

8.1 Allgemeines

Das folgende Kapitel beschreibt die auf Basis der Projektergebnisse von ESIMAS erarbeiteten/abgeleiteten Empfehlungen zum Einsatz eines Echtzeit-Sicherheits-Management-Systems für die Bauwerkseigentümer und Betreiber von Straßentunneln bzw. den zugehörigen Tunnelleitzentralen. Hierzu wurden insbesondere die Erkenntnisse aus der praktischen Erprobung des ESIMAS - Prototypen (Kapitel 7) herangezogen und als Empfehlungen bzw. Schlussfolgerungen für spätere Regelanwendungen in Tunneln in einem Leitfaden aufbereitet und veröffentlicht.

Das ESIMAS und die Projektergebnisse wurden dem Fachpublikum in zahlreichen Fachzeitschriften und Veröffentlichungen, auf Konferenzen, Workshops und Fachmessen zwecks Markterschließung etc. vorgestellt.

Alle Arbeitsschritte von AP 6 „Empfehlungen / Schlussfolgerungen“ sind ausführlich im Bericht dieses APs beschrieben (siehe Anhang 6 [7]).

8.2 Empfehlungen für die Anwendung von ESIMAS

Damit die im Rahmen des Forschungsvorhabens gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse nutzbringend Verbreitung finden können, war die Publikation der wesentlichen Ergebnisse erforderlich. Für zukünftige Interessenten und Nutzer wurde hierzu ein Leitfaden zusammengestellt, der Empfehlungen und Vorgaben für den Einsatz eines ESIMAS enthält (siehe Anhang 6 [7]). Neben den Eigentümern und Betreibern von Straßeninfrastruktur und Tunnelleitzentralen richtet sich dieser Leitfaden auch an Ingenieurbüros, die mit der Planung von Leit- und Automatisierungstechnik für Straßentunnel befasst sind.

In den Leitfaden wurden hierzu sowohl die technischen und sicherheitsrelevanten Ergebnisse aus der Demonstrationsphase (Kapitel 7) als auch die Ergebnisse zur optimalen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle (Kapitel 9) in übersichtlicher Form aufgenommen.

Der erstellte Leitfaden deckt auf 36 [9] Seiten die folgenden Inhalte ab:

- Einsatzbereich und Nutzen eines ESIMAS,
- Systembestandteile und Funktionsbeschreibung (Zentralenkomponenten und mögliche Kombination mit Detektionskomponenten),
- Integration und Betrieb,
- Referenz (Vorstellung der EGH und der zuständigen Autobahndirektion Nordbayern mit Erfahrungen zu ESIMAS aus Betreibersicht).

8.3 Empfehlungen für Sicherheitsmaßnahmen zur Prävention und schnellen Ereignisdetektion

Erfahrungen aus dem Betrieb bestehender Tunnel zeigen, dass es nicht allein zielführend ist, technische Systeme zu ergänzen, da dies stets mit einem relativ hohen Aufwand zur Investition und dauerhaften Instandhaltung einhergeht sowie die Komplexität des Gesamtsystems erhöht. Dieser Aufwand kann nur dadurch gerechtfertigt werden, dass sich die beabsichtigte sicherheitstechnische Wirkung im Betrieb tatsächlich einstellt. Vor einer entsprechenden Nachrüstung sollten daher eine entsprechende Beurteilung und nachfolgend eine sinnvolle Einbindung in ein tunnel-spezifisches Gesamtsicherheitskonzept stehen.

Erfahrungen aus zurückliegenden (stattgefundenen oder verhinderten) Ereignissen zeigen darüber hinaus, dass Weiterentwicklungen vorrangig darauf abzielen sollten, Störfälle frühzeitig in der Entstehungsphase zu erkennen, was mit den derzeit nach technischem Regelwerk vorzusehenden Komponenten nur sehr eingeschränkt möglich ist. Ein derartiger präventiver Ansatz wurde in die-

sem Projekt mit den weiterentwickelten Detektionstechnologien „Intelligente Induktionsschleife“, Videodetektion (automatisierte Bildverarbeitung) und Erkennung überhitzter Fahrzeugteile verfolgt.

Als zugehöriges Beispiel kann die derzeit praktizierte Detektion von Bränden über linienförmige Brandmeldeeinrichtungen oder lokale Sichttrübungsmessgeräte angeführt werden, die einen Brand erst nach der Entstehung erkennen können. Im Unterschied dazu ist eine erfolgreiche frühzeitige Erkennung mit den oben genannten Systemen mit den folgenden Vorteilen verbunden:

- eine frühere Sperrung des Tunnels ist möglich (weniger Personen im Gefährdungsbereich),
- betriebliche Gegenmaßnahmen können früher eingeleitet werden (u. a. Aktivierung der Brandfall-Lüftung und -Beleuchtung, Aktivierung der Flucht- und Orientierungsbeleuchtung, unterstützende verkehrstechnische Maßnahmen) und
- Einsatzdienste können früher alarmiert werden, so dass sich die Selbstrettungsphase verkürzt.

Durch diese Effekte, die auch im Rahmen von Sicherheitsbewertungen berücksichtigt werden können, ist eine signifikante Erhöhung des Sicherheitsniveaus gegenüber dem derzeit zumeist vorhandenen Stand der Technik möglich.

Eine Ergänzung der Leit- und Automatisierungstechnik um das in diesem Vorhaben entwickelte Echtzeit-Sicherheits-Management System bringt als weitere Vorteile eine gegenseitige Plausibilisierung von Detektionsdaten und den Vorschlag von Handlungsempfehlungen für die Operatoren passend zur aktuellen Sicherheitslage mit sich (Anhänge 3, 4 und 7).

8.4 Empfehlungen zur Integration in das technische Regelwerk

Im Rahmen von AP 6 wurden Empfehlungen zur Anpassung/Aktualisierung der maßgebenden Regelwerke zur betriebstechnischen Ausstattung und zum Betrieb von Straßentunneln in Deutschland formuliert.

Alle Empfehlungen zur Anpassung der maßgebenden Regelwerke sind ausführlich im Bericht von AP 6 „Empfehlungen / Schlussfolgerungen“ beschrieben (siehe Anhang 6 [7]).

8.4.1 Maßgebendes Regelwerk

Maßgebendes Regelwerk zur Überwachung von Straßentunneln sind die „Richtlinien zur Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln“ (RABT), die von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) herausgegeben und vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur mit einem allgemeinen Rundschreiben zur Anwendung für Straßentunnel im Bundesfernstraßennetz eingeführt wurde.

Aktuell gültig ist die Fassung aus dem Jahr 2006 [1]. Vom zuständigen Arbeitsausschuss wurde jüngst eine Fortschreibung als Entwurf zusammengestellt, die sich derzeit in Abstimmung befindet [10].

Inhaltlich wären von einer Integration von ESIMAS in die RABT im Wesentlichen die folgenden Kapitel betroffen:

- RABT 2006 [1]:
 - Kapitel 1.2: „Überwachung, Steuerung und Unterhaltung“
 - Kapitel 8: „Steuerung“

beziehungsweise

- RABT 2015 (Entwurf) [10]:
 - Kapitel 10: „Leit-, Automatisierungstechnik und Überwachung“, speziell Kap. 10.3

„Systemaufbau“ und Kap. 10.7 „Überwachung des Tunnels“

Aufgrund der weitgehend abgeschlossenen Fortschreibung der RABT beziehen sich die nachfolgenden Textentwürfe auf die Entwurfsfassung [10] **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

Für eine Integration des Systems in die RABT bieten sich insbesondere die folgenden Punkte an:

- Systembeschreibung
- sicherheitsrelevante Vorteile des Systems
- flexible Möglichkeiten der Systemkonfiguration

Für über diese Punkte hinausgehende Aspekte ist aus derzeitiger Sicht ein Verweis auf den erstellten Leitfaden (siehe Anhang 6 [7]) sinnvoll.

8.5 Zusammenfassung der Empfehlungen und Schlussfolgerungen von ESIMAS

Mit Blick auf die erreichte Funktionalität des Systems und die vom Betreiber der EGH dokumentierte positive Kritik können der Einsatz eines Echtzeit-Sicherheits-Management Systems und eine Weiterentwicklung des zugrundeliegenden Ansatzes empfohlen werden. Mit dem erstellten Leitfaden und der vorgesehenen Einbringung des Systems in das für das technische Regelwerk zuständige Gremium können aus dem Projekt heraus erforderliche Schritte hierzu unternommen werden. Grundsätzlich ist die Anwendung eines ESIMAS auch heute bereits über eine allgemeine Öffnungsklausel der RABT („Ausnahmen für innovative Technik“) möglich. Vor einer Anwendung mit dem Ziel einer Kompensation von Sicherheitsdefiziten oder bei Vorliegen einer besonderen Tunnelcharakteristik wären nach den RABT jedoch noch weitere Voraussetzungen zu schaffen, da dann je nach vorliegender Tunnelcharakteristik eine qualitative oder quantitative Sicherheitsbewertung erforderlich ist. Wird im Rahmen einer derartigen Bewertung der Einsatz eines ESIMAS betrachtet, so hat dies zur Folge, dass hierzu Mit-/Ohne-Vergleiche hinsichtlich des Risikos und der Kosten durchzuführen sind. In den Ereignisabläufen in den jeweiligen Schadensszenarien ist dafür im Mit-Fall geeignet festzulegen, in welchem Ausmaß ein ESIMAS das Risiko gegenüber dem Ohne-Fall reduzieren kann. Die hierfür nötigen Erkenntnisse liegen nur ansatzweise vor. Insbesondere für die Anwendung eines ESIMAS für mehrere Tunnel in einem Überwachungsgebiet oder für eine zukünftige tiefergehende Integration von ESIMAS in die Leittechnik (Einbindung von AGAP, Erweiterung zu einem (halb-)automatischen System) liegen noch keine Erkenntnisse vor. Es wäre daher empfehlenswert, die hierfür notwendige Datengrundlage zur Abschätzung der risikomindernden Wirkung eines ESIMAS im Rahmen eines zukünftigen Forschungsvorhabens zu schaffen. Ein derartiges Projekt sollte begleitend zu einem erweiterten Praxiseinsatz eines ESIMAS erfolgen.

9 Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle

9.1 Allgemeines

Das folgende Kapitel beschreibt die im Rahmen von ESIMAS entwickelte Mensch-Maschine-Schnittstelle des Expertensystems. Mit dem Ziel der Entwicklung eines auf die Anforderungen der späteren Nutzer abgestimmten Systems erfolgte im Rahmen des AP 7 die Entwicklung der Benutzeroberfläche des ESIMAS.

Eine ergonomische Benutzerschnittstelle zeichnet sich neben einer ansprechenden Visualisierung vor allem durch eine angebotene Funktionalität aus, die passgenau auf die Ziele der Nutzer und deren sich aus dem Anwendungskontext ergebenden Anforderungen zugeschnitten ist. Die wahrgenommene Nützlichkeit und die Benutzerfreundlichkeit [11] bilden grundlegende Faktoren, die über die spätere Akzeptanz des Systems entscheiden.

Das Expertensystem soll die Operatoren im Rahmen des Managements von Ereignissen und Risikosituationen unterstützen. In diesen Aufgabenfeldern besteht das Ziel der Operatoren darin, die von den Detektionstechnologien detektierten Ereignisse und die vom ESIMAS auf Basis der Sicherheitslage ermittelten Risiken zu erkennen und zu verstehen. Das Verstehen der Situationen erfordert dabei ein präzises Verständnis der Gesamtsituation, also sämtlicher Rahmenbedingungen, die einen Einfluss auf die momentane Sicherheitslage im Tunnel haben. Der Ereigniskontext prägt die Einzigartigkeit auftretender Störungen. So erfordert ein liegengebliebenes Fahrzeug bei Nacht in einem leeren Tunnel andere Maßnahmen, als ein liegengebliebenes Fahrzeug zur Rush-Hour im Kontext einer hohen Verkehrsbelastung und evtl. eines sich nähernden LKW mit überhitzten Bremsen. Präzises Verständnis der Gesamtsituation / des Ereigniskontexts bildet demnach die Grundvoraussetzung für die Auswahl und Einleitung geeigneter Maßnahmen.

Zudem treten gerade in Ereignis- und Risikosituationen die höchsten Belastungen im Alltag der Operatoren auf. Hier sind schnelle Entscheidungen gefordert, die unmittelbaren Einfluss auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer haben. Eine ergonomische Benutzerschnittstelle, die durch Anzeige relevanter, aufgabenbezogener Informationen den Prozess des Erkennens und ganzheitlichen Verstehens von Ereignis- und Risikosituationen fördert kann in hohem Maße dazu beitragen, die Qualität von Entscheidungen zu verbessern und Unsicherheiten seitens der Operatoren zu minimieren.

9.2 Vorgehensweise

Das Vorgehen der zur Erstellung der Benutzeroberfläche erfolgte gemäß dem Phasenmodell des Usability Engineering Lifecycle nach D. Mayhew [12], einem nutzerzentrierten, iterativen Gestaltungsprozess mit einem hohen Fokus auf den späteren Nutzern und Ihren Anforderungen (Abbildung 24).

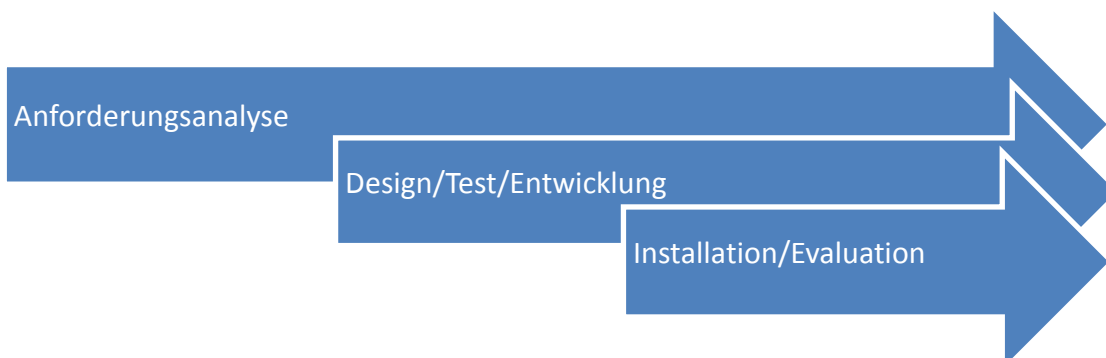


Abbildung 24: Entwicklungsphasen in Anlehnung an den Usability Engineering Lifecycle nach Mayhew [12].

Die Anforderungsanalyse bildete den Grundstein für alle weiteren Entwicklungen im Projekt. Im Rahmen der Phase Design/Test/Entwicklung wurden auf Basis der Nutzeranforderungen Gestal-

tungslösungen entwickelt, die mit den Operatoren in verschiedenen Leitstellen kontinuierlich evaluiert und iterativ verfeinert wurden. In der Phase Installation/Evaluation erfolgte die Implementierung eines auf die Gegebenheiten der Demonstrator-Leitstelle und die Kapazitäten der Projektpartner angepassten Systems in der VBZ Nordbayern. Hier konnte im Rahmen der Testphase der Betrieb des Systems unter realen Bedingungen evaluiert werden. Im Folgenden werden die Aktivitäten in den einzelnen Phasen näher beschrieben.

Alle Arbeitsschritte von AP 7 „Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ sind ausführlich im Bericht dieses APs beschrieben (siehe Anhang 7 [8]).

9.3 Anforderungsanalyse

Das Ziel der Anforderungsanalyse bestand in einem präzisen Verständnis des Nutzungskontextes, also dem Zusammenspiel zwischen den späteren Nutzern, ihren Aufgaben, sowie sämtlicher Rahmenbedingungen des späteren Einsatzes in der Tunnelleitstelle. Dieses Verständnis wurde in einer umfangreichen Anforderungsanalyse zu Beginn des Projekts aufgebaut, im gesamten Projektverlauf vertieft und bildete die Grundvoraussetzung für eine nahtlose Integration des ESIMAS in die bestehende Systemumgebung in den Leitstellen und den Workflow der Operatoren.

Abbildung 25 zeigt die unterschiedlichen Phasen der Anforderungsanalyse.

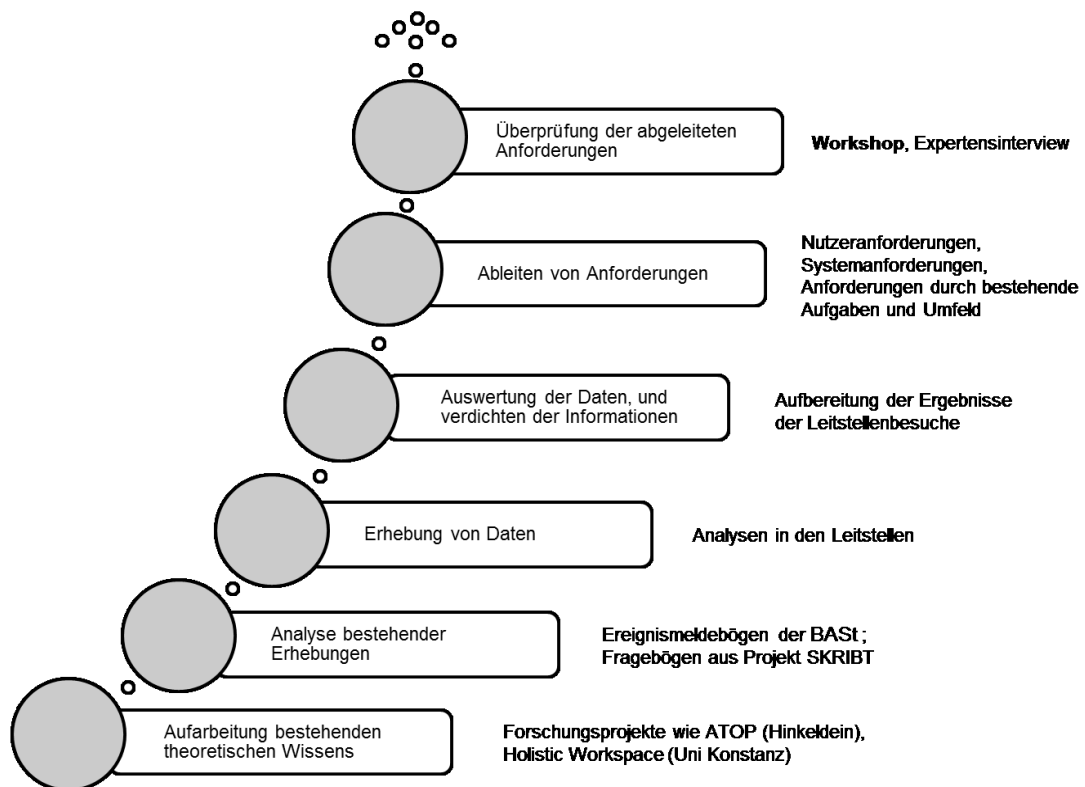


Abbildung 25: Phasen der Anforderungsanalyse.

Aufgrund der Heterogenität der Leitstellenlandschaft in Deutschland (Abbildung 26), wurden insgesamt 9 Tunnelleitstellen in Deutschland untersucht. Nur so war es möglich ein präzises Bild über die Unterschiede zwischen den Leitstellen und den daraus resultierenden Anforderungen zu erhalten. Die untersuchten Tunnelleitstellen unterscheiden sich vor allem in Hinblick auf die Größe des Überwachungsgebietes und die Anzahl und Länge zu überwachender Tunnel, hinsichtlich ihrer Aufgaben, vor allem ihrer Nebenaufgaben, ihrer Organisationsstruktur und der Betriebsphilosophie. Zudem wurden 2 Leitstellen in Österreich und eine in Luxemburg analysiert um einen internationalen Vergleich zu gewährleisten.

Das Ziel der Analysen bestand in der Beschreibung und Visualisierung von Arbeitsprozessen, Kommunikationswegen, technischen und räumlichen Gegebenheiten sowie der Analyse von wiederkehrenden Mustern und Strukturen, die systematisiert und verbessert werden können.

Der Fokus lag auf folgenden Punkten:

- Typischen Alltagsszenarien und Einsatzszenarien,
- Herausforderungen in der Tätigkeit der Operatoren, sowie deren Belastung/Beanspruchung,
- Workflow der Operatoren und Identifizierung relevanter Aufgabenfelder, die durch das ESIMAS unterstützt werden sollen (Unterstützungspotenziale),
- Dem Informationsbedarf der Operatoren zur Situationseinschätzung in Risiko- und Ereignissituationen und
- Informationsdarstellung auf den Benutzeroberflächen der Leitstellensysteme.

Auf Basis der Erkenntnisse aus den Untersuchungen wurden Nutzeranforderungen definiert und Systemanforderungen an ESIMAS abgeleitet. Eine besondere Herausforderung bestand in der Bestimmung des Informationsbedarfs der Operatoren in Ereignis- und Risikosituationen. Die Analysen machten deutlich, dass speziell in Hinblick auf die Strategien und den Informationsbedarf zur Einschätzung der Sicherheitslage in Normal- und Ereignissituationen, zwischen den verschiedenen Operatoren zum Teil deutliche Unterschiede bestehen. Diese Unterschiede lassen sich zurückführen auf unterschiedliche Erfahrungswerte der Operatoren und ein unterschiedliches Systemwissen über Zusammenhänge, aber auch auf die unterschiedlichen Leitstellenphilosophien. Mit dem Ziel der Validierung der Ergebnisse der Analysen und dem Verdichten von Informationen wurden im Rahmen eines Workshops „Nutzeranforderungen an ein Expertensystem für Tunnelleitstellen“ Fokusgruppen mit Operatoren, Leitstellenleitern und weiteren Experten für den Bereich Tunnelsicherheit durchgeführt. Dabei konnten in Diskussionsgruppen (Abbildung 26, rechts) die verschiedenen Sichtweisen und Strategien der Situationseinschätzung gerade hinsichtlich des Informationsbedarfs erworben werden.



Abbildung 26: Unterschiedliche Tunnelleitstellen in Deutschland (links), Arbeitsgruppen des ESIMAS Workshops im Rahmen der Anforderungsanalyse (rechts).

Anschließend erfolgten die Beschreibung von Nutzeranforderungen und die Ableitung von Systemanforderungen. Abbildung 27 zeigt den Workflow der Operatoren in den identifizierten Aufgabenbereichen die durch ESIMAS unterstützt werden sollen und verdeutlicht, welche Basisfunktionalität vom System zur Verfügung gestellt werden muss.

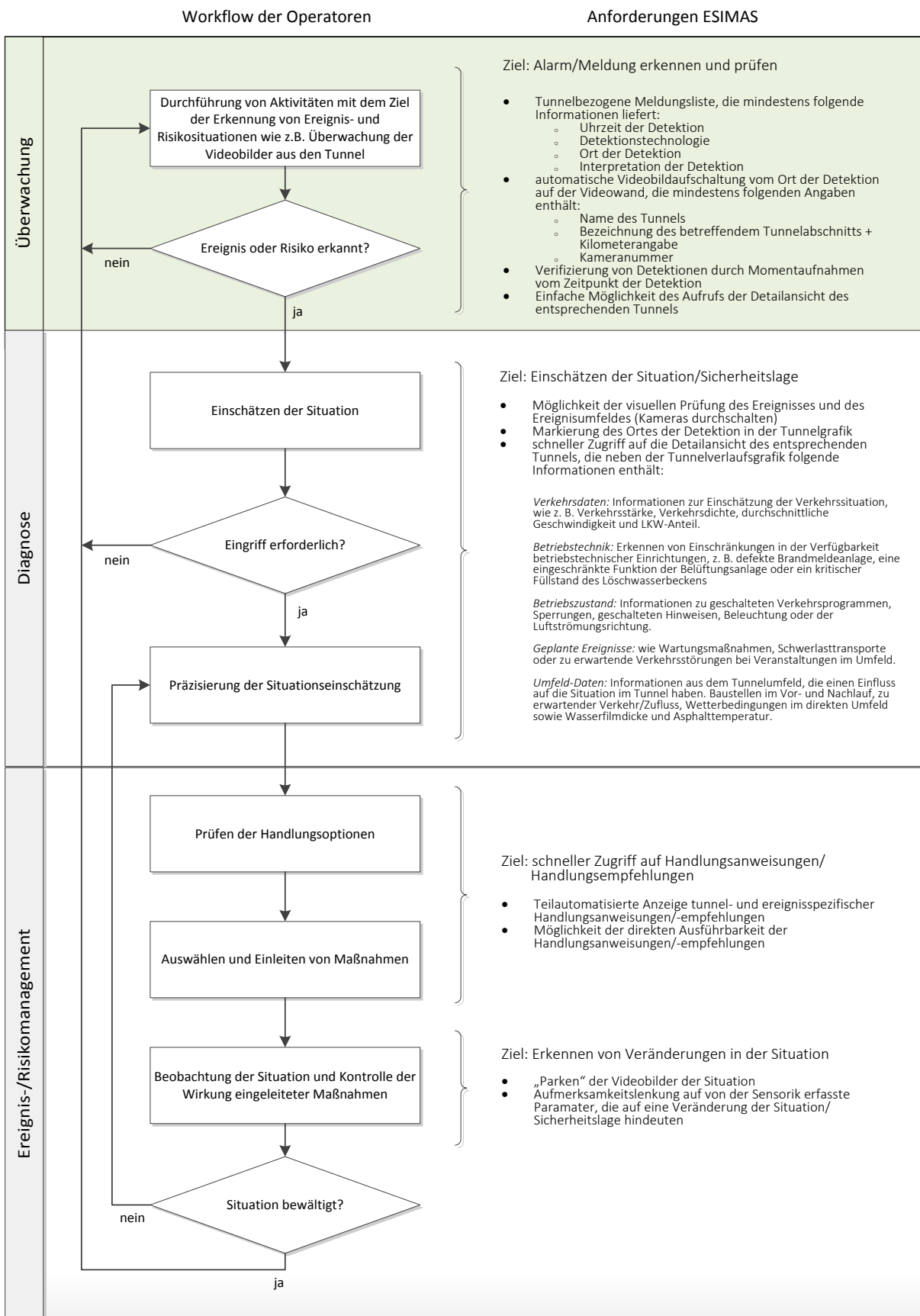


Abbildung 27: ESIMAS Systemanforderungen orientiert am Workflow der Operatoren in den Aufgabenfeldern Überwachung, Diagnose, Ereignis-/Risikomanagement.

9.4 Design, Test und Entwicklung

Im Rahmen der Phase Design/Test/Entwicklung erfolgte die Entwicklung, kontinuierliche Evaluation und iterative Verfeinerung von Gestaltungslösungen für das Echtzeit-Sicherheits-Management-System. Dabei wurden verschiedenen Varianten des Systems parallel entwickelt.

Für den prototypischen Einsatz in der VBZ Nordbayern wurde eine auf die Rahmenbedingungen des Projekts zugeschnittene Variante der Bedieneroberfläche entwickelt, die sich auf die wesentlichen Kernfunktionalitäten beschränkt. In dieser Variante liegt der Fokus auf dem Erkennen und Verstehen von Risikosituationen. Sämtliche Maßnahmen im Ereignismanagement (Verkehrssteuerung, Steuerung der Betriebstechnik oder die Ansprache der Verkehrsteilnehmer) werden mit den bestehenden Leitstellensystemen durchgeführt. Details zu den einzelnen Varianten sind im angehängten Bericht des AP7 näher beschrieben (siehe Anhang 7).

Darüber hinaus wurde eine erweiterte Variante entwickelt, die sämtliche Anforderungen, die sich aus der Analyse des Nutzungskontextes ergeben haben, berücksichtigt und den Operatoren die Möglichkeit bietet sämtliche Aufgaben beim Erkennen, Verstehen und dem Management von Ereignis- und Risikosituationen mit dem System zu bearbeiten.

Die entwickelten Gestaltungslösungen wurden kontinuierlich mit Operatoren in drei ausgewählten Tunnelleitstellen evaluiert und verfeinert (Abbildung 28). Bei der Evaluation kamen funktionale, klickbare Prototypen auf HTML-5 Basis zum Einsatz. Die Operatoren wurden dabei mit typischen Ereignis- und Risikosituationen konfrontiert, die sie mit der Bitte um „Thinking Aloud (lautes Denken)“ einschätzen sollten, um anschließend geeignete Maßnahmen zur Situationsbewältigung abzuleiten. Wesentliches Erkenntnisinteresse galt dabei:

- Den Grundprinzipien der Aufmerksamkeitslenkung,
- Der Verfeinerung der funktionalen Anforderungen hinsichtlich des Informationsbedarfs zur Einschätzung der Ereignis- und Risikosituationen,
- Der Evaluation verschiedener Möglichkeiten der Visualisierung der Informationen.



Abbildung 28: Evaluation des ESIMAS-Prototypen. Interviews mit Operatoren und Durchführung von Eye-Tracking-Untersuchungen.

Die größte Herausforderung in dieser Phase bestand darin, die unterschiedlichen Anforderungen der Operatoren, die sich bereits im Rahmen der Anforderungsanalyse zeigten, zu berücksichtigen und in ein System zu überführen, dass eine breite Akzeptanz bei den Operatoren erreicht.

Abbildungen 29-30 zeigen den finalen Prototypen zur Erprobung in der VBZ Nordbayern. Die verschiedenen Funktionsbereiche werden im angehängten AP7-Bericht näher beschrieben (Anhang 7). Abbildung 29 zeigt den Prototyp in der Verkehrsdatenansicht, in Abbildung 30 sind die Handlungsempfehlungen dargestellt. Diese werden vom Expertensystem für jede ermittelte Ereignis-

oder/und Risikosituation bereitgestellt und können vom Operator aufgerufen werden.

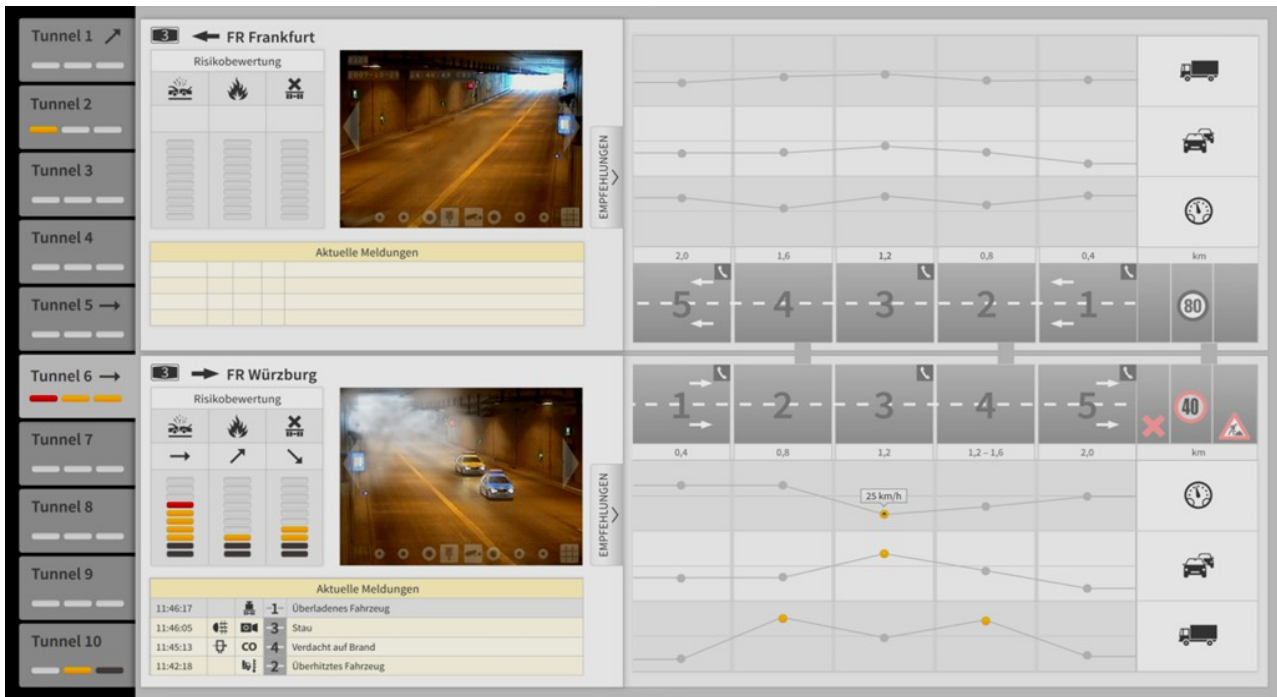


Abbildung 29: ESIMAS-Prototyp VBZ Nordbayern – Verkehrsdatenansicht.

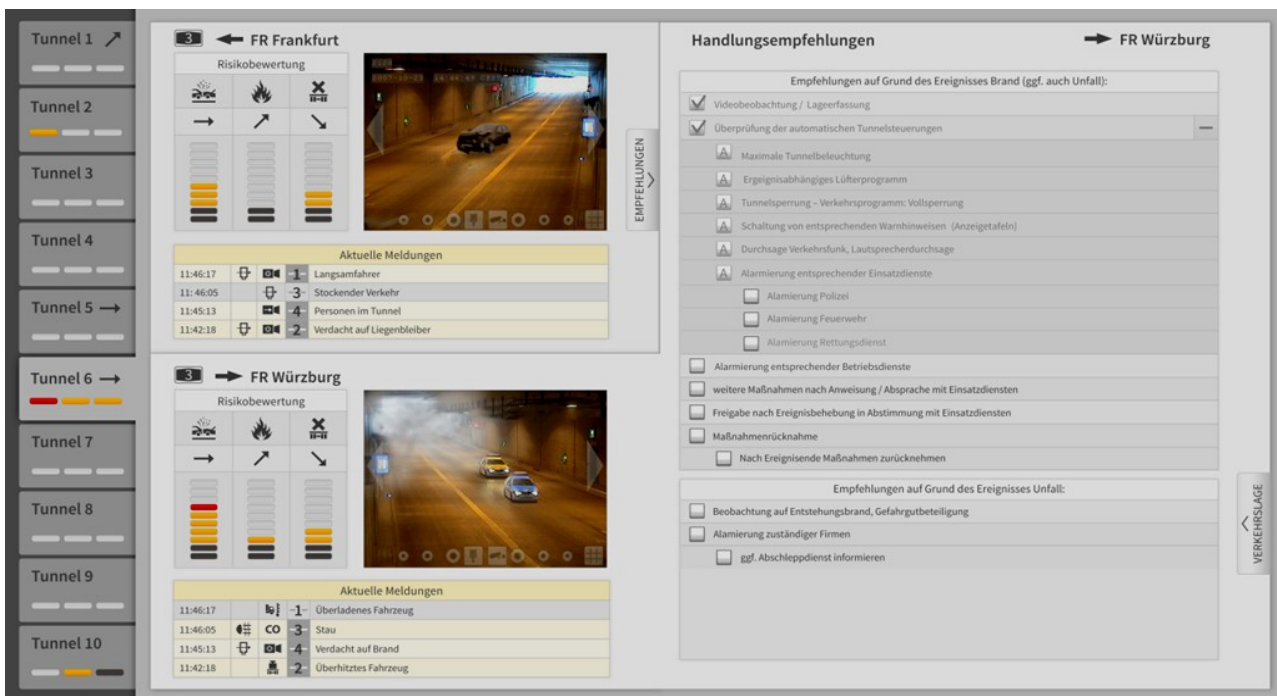


Abbildung 30: ESIMAS-Prototyp VBZ Nordbayern – Ereignisbezogene Handlungsempfehlungen.

9.5 Demonstration und Evaluation der ESIMAS-Bedieneroberfläche

Auf Basis des Konzepts des finalen Prototyps wurde der Prototyp durch die Firma OSMO umgesetzt und in der VBZ Nordbayern installiert. Die Evaluation der Installation wurde von 2 erfahrenen Operatoren begleitet. In dieser Phase wurde der Prototyp auf die Gegebenheiten und die Besonderheiten der Leitstelle angepasst und die typischerweise zu Beginn auftretenden Fehler und Prob-

leme beseitigt.

Im Anschluss an die interne Testphase erfolgte die offizielle Betriebsphase des Systems unter Einbeziehung aller 11 Tunnel-Operatoren der VBZ Nordbayern. Im Verlauf der Betriebsphase wurde der Prototyp auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse weiter verfeinert. Dabei wurden folgende Methoden zur Evaluation des Systems mit den Operatoren eingesetzt:

- Beobachtung der Operatoren bei der Nutzung des Systems im Alltagsbetrieb (Abbildung 31)
- Strukturierte Leitfadeninterviews zu folgenden Schwerpunkten:
 - Benutzung und Erfahrungen mit dem System
 - Einfluss des Systems auf bestehende Arbeitsabläufe
 - Umgang mit Risikowerten und Handlungsempfehlungen
 - Handling des Systems/Verständnis der Anzeigen (Benutzeroberfläche)
 - Ermittlung von weiteren Verbesserungspotenzialen
- Nutzertagebücher der Operatoren

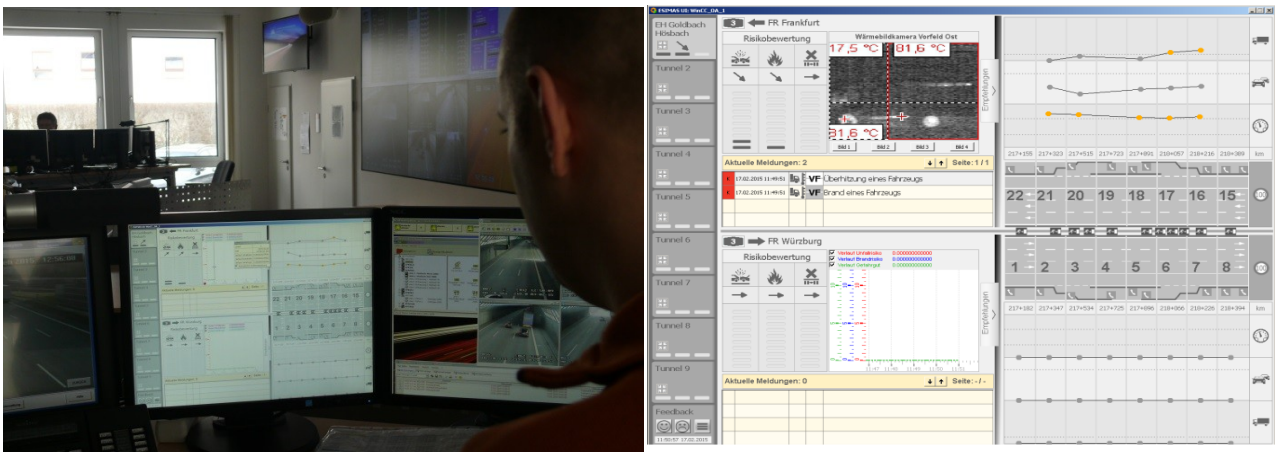


Abbildung 31: Evaluation des Erprobungssystems in der VBZ Nordbayern.

Im Rahmen der Evaluation wurde immer wieder deutlich, dass sich die Anforderungen der Operatoren durch den Einsatz des Systems unter realen Bedingungen, im Vergleich zur Evaluation der nicht implementierten Prototypen auf HTML5 Basis, deutlich konkretisierten. Durch die Einbindung in den Workflow konnten zahlreiche Verbesserungspotenziale identifiziert und umgesetzt werden. Die Erkenntnisse konnten genutzt werden, um die Anforderungen der Operatoren aus der Analyse und Entwicklungsphase weiter zu konkretisieren.

9.6 Zusammenfassung zur Entwicklung der ESIMAS-Bedieneroberfläche

Der Entwicklung der Benutzeroberfläche des ESIMAS standen zahlreiche Herausforderungen gegenüber. Die hohe Heterogenität der Leitstellenlandschaft in Deutschland und die gewachsenen Systemlandschaften innerhalb einiger Leitstellen mit unterschiedlichen Teilsystemen und Insellösungen führten zu sehr unterschiedlichen Anforderungen der Operatoren gerade in Hinblick auf die gewünschte Funktionalität und die Art der Implementierung.

Die durchgeführte Anforderungsanalyse mit einer systematischen Analyse von 12 Tunnelleitstellen und die anschließende Verifizierung der Erkenntnisse im Rahmen eines Fragebogens und verschiedener Fokusgruppen innerhalb eines Workshops führten zu einem präzisen Verständnis der verschiedenen Nutzeranforderungen. Im Verlauf des Projektes wurde immer wieder deutlich, dass

die mit ESIMAS angedachte automatische Detektion von Ereignissen, die Ermittlung von Risiken und die Vorschläge von Maßnahmen durch das Expertensystem wichtige Bausteine für die Unterstützung von Operatoren sind, die effiziente Nutzung dieser Bausteine aber auch eine optimierte, auf die Aufgaben und Anforderungen der Operatoren angepasste Benutzeroberfläche innerhalb der bestehenden Leitstellensysteme (gerade bei der Überwachung vieler Tunnel) erfordert. Nur wenn diese Eigenschaften gegeben sind, kann ESIMAS als Expertensystem in diesem Anwendungsbereich sein volles Potenzial ausschöpfen.

Im Rahmen der Betriebsphase des entwickelten Prototypen in der VBZ Nordbayern, konnten wichtige Erkenntnisse über den Umgang der Operatoren mit Risiken und Ereignissen sowie Handlungsempfehlungen aber auch zu Strategien der Situationseinschätzung und Situationsbewältigung gewonnen werden. Der in der VBZ Nordbayern implementierte Prototyp wird positiv von den Operatoren der Leitstelle angenommen und kann als großer Schritt in Richtung innovativer Werkzeuge für die zentralisierte Tunnelüberwachung gesehen werden.

Gesamtzusammenfassung

Gesamtziel des Verbund-Vorhabens ESIMAS war die Neu- und Weiterentwicklung innovativer Detektionssysteme kombiniert mit einer Online - Risikobewertung von sicherheitsrelevanten Daten für den Einsatz an Straßentunneln. Mit Hilfe des ESIMAS wird das Leitstellenpersonal in der Tunnelleitzentrale in die Lage versetzt, geeignete präventive und ausmaßmindernde Maßnahmen frühzeitig und gezielt einleiten, um die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer weiter zu erhöhen.

Die zukünftige Unterstützung der Überwachung von Tunnelanlagen mit ESIMAS führt zu einem maßgeblichen Sicherheitsgewinn für den Verkehrsteilnehmer, da durch die umfangreichere und genauere Erfassung und Auswertung von Informationen die Verantwortlichen in den Tunnelleitzentralen besser und schneller reagieren können.

Im Verlauf des Projekts wurden das Detektionssystem zur Erfassung von überhitzten Fahrzeugen, die Innovative Störfalldetektion und die Videodetektion weiterentwickelt und optimiert. Die durch diese neuartigen Detektionssystemen erfasste Daten wurden zusammen mit verkehrs- und sicherheitsrelevanten Daten, durch in ESIMAS neuentwickelten Methoden, fusioniert und plausibilisiert, um die Möglichkeit einer kontinuierlichen Online-Risikobewertung zu schaffen.

Es erfolgte die Entwicklung von Methoden zur Erfassung der Sicherheitslage im Tunnel. Diese wurden anhand der entwickelten ESIMAS-GUI umgesetzt und dargestellt.

Weiterhin wurde in ESIMAS ein Maßnahmenkatalog mit unterschiedlichen ereignisabhängigen Maßnahmenpaketen entwickelt, die vom Expertensystem auf Basis einer Online-Risikoanalyse zur Reduzierung des Gesamtrisikos im betrachteten Tunnel vorgeschlagen werden.

Zudem erfolgte die Entwicklung der ESIMAS-GUI. Diese Benutzeroberfläche soll es den Operatoren ermöglichen, die ermittelten Risiken und Ereignisse zu erkennen und zu verstehen um geeignete Eingriffsstrategien abzuleiten.

Schließlich erfolgten der Einsatz und die praktische Erprobung des ESIMAS-Prototypens an einem Demonstrationstunnel, der EGH. Nach Einbau, Inbetriebnahme, Erprobung mit Funktionsanalyse und resultierender Optimierung wurde die so erreichte Funktionalität für die verschiedenen Verkehrs- und Betriebszustände demonstriert. Auf Basis der Projektergebnisse von ESIMAS wurden Empfehlungen zum Einsatz des ESIMAS für die Bauwerkseigentümer und Betreiber sowie für die Anpassung von Richtlinien und Normen ausgearbeitet. Hierzu wurden insbesondere die Erkenntnisse aus der praktischen Erprobung im Demonstrator herangezogen und als Empfehlungen/Schlussfolgerungen für spätere Regelanwendungen in Tunneln zusammengefasst. Die Formulierung von endgültigen Empfehlungen auf Grundlage der Projektergebnisse wurde in einem Leitfa-den für Betreiber vorgenommen.

Ausblick

Das Projekt ESIMAS wurde im Mai 2015 erfolgreich abgeschlossen. Das Ziel, ein System zu entwickeln, das den Betreiber/ Operator bei zunehmendem Überwachungsaufwand unterstützt, wurde erreicht. Um die sich aus dem System ergebenden Potentiale gänzlich auszuschöpfen, finden fortlaufend Anpassungen und Weiterentwicklungen statt. Grundsätzlich sehen die Operatoren in ESIMAS „hohes Unterstützungspotenzial“ und „einen wichtigen Schritt in die richtige Richtung“. Der Wunsch nach dem Weiterbetrieb des Systems besteht, da eine verbesserte Sicherheit gegenüber der rein visuellen Überwachung gemäß RABT gesehen wird. Mit ESIMAS wird ein System bereitgestellt, welches mit einem relativ geringen Aufwand eine erhebliche Sicherheitssteigerung für den Verkehrsteilnehmer erzeugt. Diese Steigerung entsteht durch die präventive und verbesserte Aufmerksamkeitslenkung von Operatoren sowie der Möglichkeit, Maßnahmen frühestmöglich und sehr gezielt einzuleiten.

Aktuell befindet sich das System in der Nachnutzung und soll ab 2016 in den laufenden Betrieb der VBZ Nordbayern in Fischbach überführt werden, für den weitere Anpassungen und Erweiterungen vorgenommen werden sollen.

Das Verbundprojekt ESIMAS wurde durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie gefördert. Wir danken der Autobahndirektion Nordbayern für ihre Bereitschaft einen Tunnel aus ihrem Verantwortungsbereich als Demonstrator nutzen zu dürfen, sowie für die konstruktive Unterstützung.

Weitere Informationen zu beiden Projekten sowie alle verfügbaren Berichte können auf der Projekthomepage unter www.esimas.de abgerufen werden.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsprinzip von ESIMAS.....	6
Abbildung 2: Systemübersicht und Datenfluss.....	7
Abbildung 3: ESIMAS Arbeitsstruktur.....	8
Abbildung 4: links: Infrator-Kameras (oben), Videokamera (unten), rechts: Laserscannereinheit über der Fahrbahn.....	11
Abbildung 5: Zusammenwirken der Sensoren zur Erfassung von überhitzten Fahrzeugen.....	11
Abbildung 6: Prinzipieller Aufbau des Systems zur Innovativen Störfalldetektion.....	13
Abbildung 7: Videobasierte Fahrzeugdetektion und -verfolgung (links) und Ereignisdetektion (hier: stehengebliebenes Fahrzeug) im Demonstrator (rechts).....	14
Abbildung 8: Exemplarisches Weg-Zeit-Diagramm einzelner Fahrzeuge und Detektion eines Langsamfahrs.....	14
Abbildung 9: Systemkonfiguration mit einem ESIMAS; Architektur der Leit- und Automatisierungstechnik gemäß Entwurf der RABT 2015.....	16
Abbildung 10: Datenbereitstellung.....	18
Abbildung 11: Systematik der Datenfusion.....	20
Abbildung 12: Überblick der Systemarchitektur von ESIMAS.....	21
Abbildung 13: Zusammenhang zwischen Wahrscheinlichkeit des Ereignisses und Schadensausmaß.....	24
Abbildung 14: On- und Offline-Komponenten eines ESIMAS.....	26
Abbildung 15: Risikodarstellung in der ESIMAS-GUI.....	26
Abbildung 16: GUI Auswahlbutton Tunnel.....	27
Abbildung 17: Risikoverlauf als Trend.....	27
Abbildung 18: Ereignisse aus der Analyse von AGAP.....	30
Abbildung 19: Ablaufdiagramm der Maßnahmenharmonisierung.....	34
Abbildung 20: Klassen für die Ermittlung von Maßnahmenvorschlägen.....	35
Abbildung 21: Demonstrationsbereich von ESIMAS in der westlichen Nordröhre der EGH in Hösbach.....	38
Abbildung 22: Schematischer Aufbau des ESIMAS-Prototypen.....	39
Abbildung 23: Operatorenarbeitsplätze in der VBZ Nordbayern.....	42
Abbildung 24: Entwicklungsphasen in Anlehnung an den Usability Engineering Lifecycle nach Mayhew.....	48
Abbildung 25: Phasen der Anforderungsanalyse.....	49
Abbildung 26: Unterschiedliche Tunnelleitstellen in Deutschland (links), Arbeitsgruppen des ESIMAS Workshops im Rahmen der Anforderungsanalyse (rechts).....	50
Abbildung 27: ESIMAS Systemanforderungen orientiert am Workflow der Operatoren in den Aufgabefeldern Überwachung, Diagnose, Ereignis-/Risikomanagement.....	51
Abbildung 28: Evaluation des ESIMAS-Prototypen. Interviews mit Operatoren und Durchführung von Eye-Tracking-Untersuchungen.....	52
Abbildung 29: ESIMAS-Prototyp VBZ Nordbayern – Verkehrsdatenansicht.....	53
Abbildung 30: ESIMAS-Prototyp VBZ Nordbayern – Ereignisbezogene Handlungsempfehlungen.....	53
Abbildung 31: Evaluation des Erprobungssystems in der VBZ Nordbayern.....	54

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kategorisierung von Maßnahmen.	30
Tabelle 2: Exemplarischer Aufbau des Maßnahmenpaketes für das Ereignis Unfall.	31
Tabelle 3: Komponente der einzelnen Detektionstechnologien.	38
Tabelle 4: Leistungsbild der Detektionstechnologien von ESIMAS und die Testszenarien zur deren Kalibrierung.	41

Literaturverzeichnis

- [1] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, Ausgabe 2006.
- [2] Projektbericht „Arbeitspaket 1 – Detektionstechnologie“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [3] Projektbericht „Arbeitspaket 2 – Datenfusion und Plausibilisierung“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [4] Projektbericht „Arbeitspaket 3 – Sicherheitsanalyse und Risikobewertung“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [5] Projektbericht „Arbeitspaket 4 – Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [6] Projektbericht „Arbeitspaket 5 – Demonstration“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [7] Projektbericht „Arbeitspaket 6 – Empfehlungen/Schlussfolgerungen“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [8] Projektbericht „Arbeitspaket 7 – Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
- [9] Einsatz eines Echtzeit-Sicherheitsmanagementsystems (ESIMAS) in Tunnelleitzentralen - Einsatzmöglichkeiten, Systembestandteile und Integration. Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach 2015.
- [10] Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen: Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln, Entwurf 2015, Endversion Länderanhörung Stand Juni 2015, unveröffentlicht.
- [11] Davis, F., Bagozzi, P., Warshaw, P: User acceptance of computer technology - a comparison of two theoretical models, in: Management Science 35(8), 1998, Seite 982–1003.
- [12] Mayhew, Deborah J.: The Usability Engineering Lifecycle. A practitioner's handbook for user interface design. San Francisco u. a.: Morgan Kaufmann Publishers, 1999.

Anhang

1. Projektbericht „Arbeitspaket 1 – Detektionstechnologie“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für , 2015, unveröffentlicht.
2. Projektbericht „Arbeitspaket 2 – Datenfusion und Plausibilisierung“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
3. Projektbericht „Arbeitspaket 3 – Sicherheitsanalyse und Risikobewertung“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
4. Projektbericht „Arbeitspaket 4 – Maßnahmen und deren Integration im Expertensystem“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
5. Projektbericht „Arbeitspaket 5 – Demonstration“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
6. Projektbericht „Arbeitspaket 6 – Empfehlungen/Schlussfolgerungen“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.
7. Projektbericht „Arbeitspaket 7 – Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle“ zum Verbundprojekt „Echtzeit Sicherheits-Management System für Straßentunnel (ESIMAS)“ für das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2015, unveröffentlicht.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN -	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht		
3. Titel Verbundprojekt ESIMAS Echtzeit-Sicherheits-Management System für Straßentunnel Gemeinsamer Schlussbericht			
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Anastassiadou, Kalliopi Gerlach, Simon Lehan, Anne Böhnke, Peter Fazekas, Adrian Eismann, Klaus Siebe, Ralf Balz, Werner Fehren-Schmitz, Kai Grossmann, Susanne Fischer, Martin Strehle, Volker Piazzolla, Antonio Thienert, Christian Krömker, Heidi. Spundflasch, Sebastian	5. Abschlussdatum des Vorhabens 31.05.2015	6. Veröffentlichungsdatum 31.11.2015	
	7. Form der Publikation -		
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH (ave), Heider-Hof-Weg 23b, 52080 Aachen Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen (isac), Mies-van-der-Rohe- Straße 1, 52074 Aachen OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG (OSMO), Bielefelder Straße 10, 49124 Georgsmarienhütte PTV Transport Consult GmbH (PTV Group), Stumpfstraße 1, 76131 Karlsruhe SPI Dresden GmbH (SPI), Chemnitzer Straße 46a, 01187 Dresden Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.(STUVA), Mathias-Brüggen- Straße 41, 50827 Köln Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Medienproduktion - Institut für Medientechnik (TUI),Gustav-Kirchhoff-Straße 1, 98693 Ilmenau		9. Ber. Nr. Durchführende Institution -
	10. Förderkennzeichen 19S11004A (BASt) 19S11004I (ave) 19 S 11004E (isac) 19S11004G (OSMO) 19S11004D (PTV Group) 19S11004H (SPI) 19S11004B (STUVA) 19 S11004C (TUI)		11. Seitenzahl 61
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Villemombler Str. 76 53123 Bonn	13. Literaturangaben: 12		
	14. Tabellen 4		
	15. Abbildungen 31		
16. Zusätzliche Angaben -			
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) -			
18. Kurzfassung Das vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aus dem 3. Verkehrsforschungsprogramm „Mobilität und Verkehrstechnologien“ geförderte Projekt – ESIMAS Echtzeit-Sicherheits-Management System für Straßentunnel – startete 2011 (Laufzeit: 2011-2015) mit dem Ziel, ein Echtzeit-Sicherheitssystem für Straßentunnel zu entwickeln, das die Operatoren in den Tunnelleitzentralen dabei unterstützt, Risikosituationen frühzeitig zu erkennen und bei Ereignissen schneller und effektiver handeln zu können. Gesamtziel des Verbund-Vorhabens „ESIMAS“ war die Neu- und Weiterentwicklung innovativer Detektionssysteme kombiniert mit einer Echtzeit- Risikobewertung von sicherheitsrelevanten Daten für den Einsatz an Straßentunneln. Mit Hilfe des „ESIMAS“ wird das Leitstellenpersonal in der Tunnelleitzentrale in die Lage versetzt, geeignete präventive und ausmaßmindernde Maßnahmen frühzeitig und gezielt zu einleiten, um die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer zu gewährleisten.			
19. Schlagwörter Infrastruktur, Detektion, Sensor, Straßentunnel, Online-Datenfusion, Sicherheitsanalyse, Risikobewertung, Mensch-Maschine-Schnittstelle, Expertensystem, Tunnelleitzentrale			
20. Verlag -	21. Preis -		

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN -	2. type of document (e.g. report, publication) Final Report
3. title Cooperative Project ESIMAS Real Time Safety Management System for Road Tunnels Joint Project Report	
4. author(s) (family name, first name(s)) Anastasiadou, Kalliopi Gerlach, Simon Lehan, Anne Böhnke, Peter Fazekas, Adrian Eismann, Klaus Siebe, Ralf Balz, Werner Fehren-Schmitz, Kai Grossmann, Susanne Fischer, Martin Strehle, Volker Piazzolla, Antonio Thienert, Christian Krömker, Heidi. Spundflasch, Sebastian	5. end of project 31.05.2015 6. publication date 31.11.2015 7. form of publication -
8. performing organization(s) (name, address) Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH (ave), Heider-Hof-Weg 23b, 52080 Aachen Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen (isac), Mies-van-der-Rohe- Straße 1, 52074 Aachen OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG (OSMO), Bielefelder Straße 10, 49124 Georgsmarienhütte PTV Transport Consult GmbH (PTV Group), Stumpfstraße 1, 76131 Karlsruhe SPI Dresden GmbH (SPI), Chemnitzer Straße 46a, 01187 Dresden Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V.(STUVA), Mathias-Brüggen- Straße 41, 50827 Köln Technische Universität Ilmenau, Fachgebiet Medienproduktion - Institut für Medientechnik (TUI),Gustav-Kirchhoff-Straße 1, 98693 Ilmenau	9. originator's report no 10. reference no. 19S11004A (BASt) 19S11004I (ave) 19 S 11004E (isac) 19S11004G (OSMO) 19S11004D (PTV Group) 19S11004H (SPI) 19S11004B (STUVA) 19 S11004C (TUI) 11. no. of pages 61
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) Villemombler Str. 76 53123 Bonn	13. no. of references 12 14. no. of tables 4 15. no. of figures 31
16. supplementary notes -	
17. presented at (title, place, date) -	
18. abstract The joint research project "ESIMAS – Real Time Safety Management System for Road Tunnels" being funded under the 3rd transport research program "Mobility and Transport Technologies" of the Federal Ministry of Economic Affairs and Energy (BMWi) – started in 2011 (duration: 2011-2015) with aim to develop a real time safety system for road tunnels which will support operator in the tunnel control centers in identifying risk situations at an early stage and to act more quickly and effectively in case of occurred events. The overall objective of the joint research project "ESIMAS" was the new and further development of innovative detection systems combined with a real-time risk assessment of safety-related data used in road tunnels. With "ESIMAS" the control center personnel is enabled, to take appropriate forms of preventive and mitigating actions at an early state and specifically to ensure the safety of road users.	
19. keywords Infrastructure, detection, sensor, road tunnel, online-data fusion, safety analysis, risk assessment, human-machine interface, Expert system, tunnel control center	
20. publisher -	21. price -