



EINSATZ EINES ECHTZEIT-SICHERHEITSMANAGEMENT- SYSTEMS (ESIMAS) IN TUNNELLEITZENTRALEN

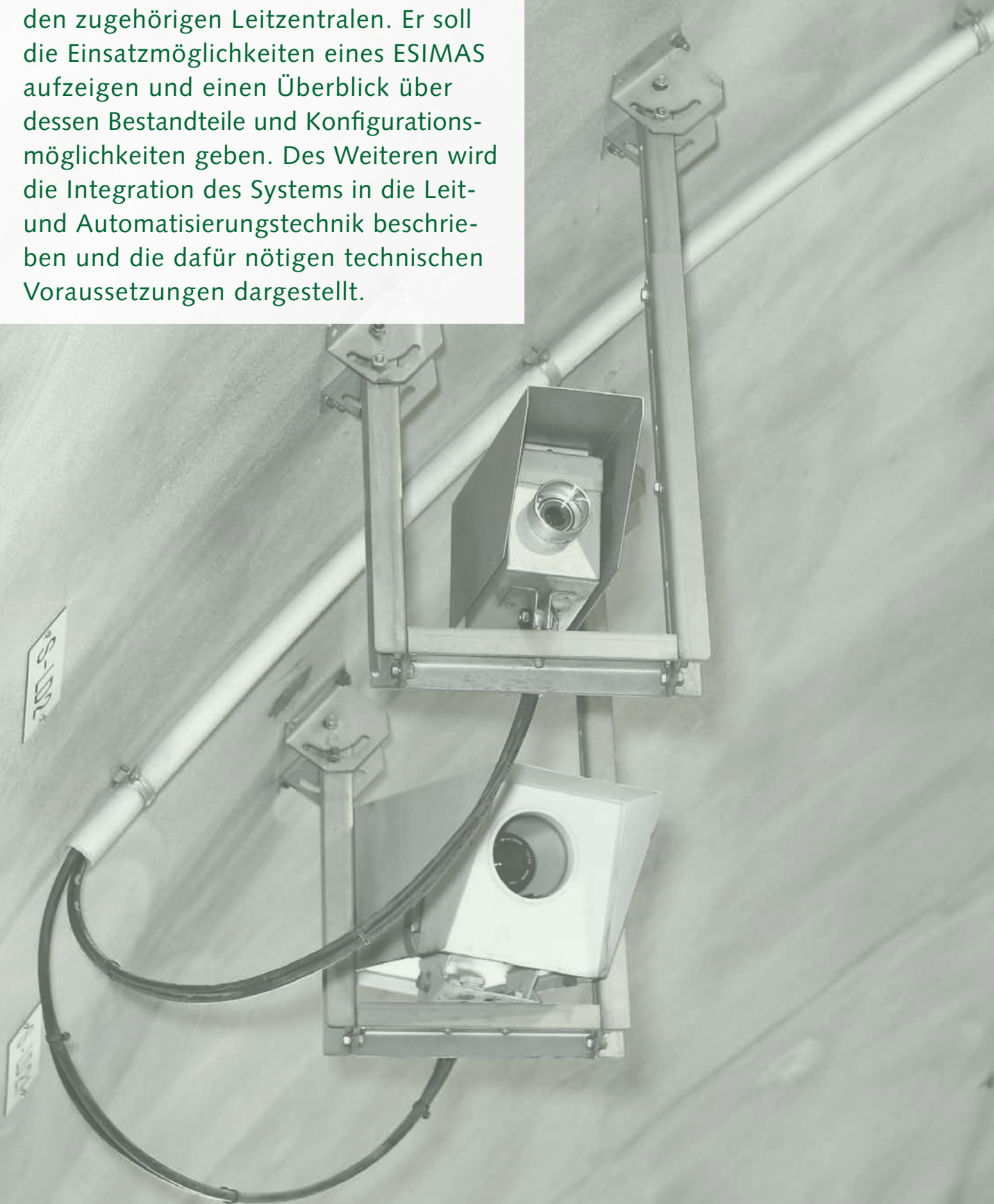
Einsatzmöglichkeiten, Systembestandteile und Integration



Aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert durch:

ZIELSETZUNG UND UMFANG

Dieser Leitfaden richtet sich vorrangig an Betreiber von Straßentunneln und den zugehörigen Leitzentralen. Er soll die Einsatzmöglichkeiten eines ESIMAS aufzeigen und einen Überblick über dessen Bestandteile und Konfigurationsmöglichkeiten geben. Des Weiteren wird die Integration des Systems in die Leit- und Automatisierungstechnik beschrieben und die dafür nötigen technischen Voraussetzungen dargestellt.



INHALT

1 Vorwort Seite 02

2 Warum ESIMAS? Seite 04

3 Systembestandteile und Funktionsbeschreibung Seite 06

ESIMAS-Zentralenkomponenten Seite 08

Datengrundlage Seite 08

Datenfusion Seite 08

Online-Risikoanalyse und -bewertung Seite 10

Expertensystem zur Maßnahmenauswahl Seite 11

Benutzerschnittstelle Seite 12

ESIMAS-Detektionskomponenten Seite 14

4 Integration und Betrieb Seite 26

Integration in die Leit- und
Automatisierungstechnik Seite 26

Technische Voraussetzungen Seite 27

Konfiguration und Betrieb Seite 38

5 Referenz Seite 30

Demonstration von ESIMAS Seite 30

Erfahrungen des Betreibers Seite 31

6 Projektkonsortium Seite 32

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.

Da Straßentunnel im Straßennetz nicht selten einen „Flaschenhalseffekt“ aufweisen, kann ein längerfristiger Ausfall erhebliche Verkehrsumlagerungseffekte verursachen, einhergehend mit hohen Reisezeitverlusten bzw. Mobilitätsverlusten der Verkehrsteilnehmer. Gleichzeitig können solche Ereignisse hohe wirtschaftliche bzw. volkswirtschaftliche Folgen nach sich ziehen. Vor diesem Hintergrund stellt die Verbesserung der Sicherheit in Straßentunneln auch weiterhin eine besondere Herausforderung dar. Durch die unterirdische Verlagerung des Straßenverkehrs zum Schutz der Umwelt wird die Anzahl und auch die Länge der Straßentunnel national und international weiter deutlich zunehmen.

Um die Sicherheit der Tunnelnutzer zu gewährleisten, 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 (sog. Operatoren) im Schichtdienst besetzt sind. Zukünftig müssen Tunnelleitzentralen mehr Straßentunnel überwachen als bisher. Vor dem Hintergrund der weiter

steigenden 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 Kanalisierung, Fusionierung, Plausibilisierung, Interpretation und Konzentration dieser bereitgestellten Informationen und hieraus abgeleiteter präventiver, ausmaßmindernder und schadenbegrenzender Handlungsempfehlungen und deren Visualisierung kommt zukünftig Expertensystemen zur Unterstützung der Operatoren eine hohe Bedeutung zu. Durch Expertensysteme kann auch bei der zukünftigen weiteren Konzentration



Dr. Jürgen Krieger (BAST)
ESIMAS Verbundkoordinator

der Tunnelüberwachung in übergeordneten Leitzentralen ein hohes Sicherheitsniveau in Straßentunneln gewährleistet werden. 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 visualisiert.

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 Schadenausmaßes gezielt und sehr frühzeitig treffen.

Mit dem Projekt ESIMAS wurde versucht, einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Verkehrssicherheit zu leisten.

Wir freuen uns, Ihnen die Ergebnisse unserer Untersuchungen der letzten vier Jahre übergeben zu können. Abschließend möchten wir all jenen im Hintergrund des Projektkonsortiums für die fruchtbare Zusammenarbeit und die wertvollen Beiträge danken, ohne die eine Umsetzung dieser Idee nicht möglich gewesen wäre.

J. Krieger

Bedingt durch die fortlaufende Zunahme an Tunnelbauwerken einerseits und einer Tendenz zur zentralisierten Überwachung mehrerer Tunnel in einer Leitzentrale andererseits steigen die Anforderungen an die Operatoren.

Nach den „Richtlinien für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln“ (RABT 2006), mit denen die Anforderungen der EU-Direktive 2004/54/EG in Deutschland umgesetzt wurden, sind Straßentunnel mit einer Länge von über 400 m in einer ständig besetzten Stelle („Tunnelleitzentrale“) zu überwachen.

Für diese Problemstellung wurde im Rahmen eines Forschungsprojektes ein Echtzeit-Sicherheitsmanagementsystem („ESIMAS“) entwickelt (siehe *Systembeschreibung in Kapitel Systembestandteile*), welches die Operatoren in den relevanten Aufgabenfeldern Überwachung, Diagnose und Ereignismanagement/-prävention unterstützt und entlastet.

ESIMAS verbessert zunächst durch eine optimierte Sensorik die Zuverlässigkeit und Reaktionszeit der Detektion von Ereignissen im Tunnel und reduziert aufbauend darauf durch Datenfusion mit Plausibilisierung die Anzahl von Fehlalarmen.

Weiterhin wird für eine schnellere Diagnose 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.

Das in diesem Leitfaden dargestellte System stellt eine Ergänzung zu den bisher überwiegend eingesetzten Leit- und Automatisierungssystemen dar. Ein Einsatz eines derartigen Systems 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),
- ▶ bei vorhandenen Tunneln, die häufig verkehrlich überlastet sind (überwachungsintensive Tunnel, häufige Ereignisse/Störfälle),
- ▶ bei bekannten Unfallschwerpunkten und
- ▶ bei einem hohen Gefahrgutaufkommen.



Exemplarischer Operatoren-arbeitsplatz in einer integrierten Tunnelleitzentrale (hier: Betriebs- und Tunnelzentrale (BTZ) Hannover in Niedersachsen).

Das in diesem Leitfaden beschriebene System ESIMAS stellt eine Ergänzung zu den bisher vorhandenen Systemen in der Leit- und Automatisierungstechnik dar. Kernbestandteile des Systems sind eine optimierte Sensorik zur zuverlässigeren und schnelleren Detektion von Ereignissen im Verkehrsfluss im Tunnel, eine Online-Risikobewertung mit einem darauf aufbauenden Expertensystem und eine ergonomische Benutzerschnittstelle.

Als Entscheidungsgrundlage zur Risikobewertung dienen die Daten der zur Überwachung von Straßentunneln verfügbaren Detektionssysteme. Dies sind die standardmäßig nach den RABT eingesetzten und die in ESIMAS optimierten Detektionssysteme, die bisher noch nicht vom technischen Regelwerk RABT 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 1 stellt die Übersicht eines ESIMAS und den grundlegenden Datenfluss dar. Nachfolgend werden die einzelnen Bestandteile des Systems beschrieben.

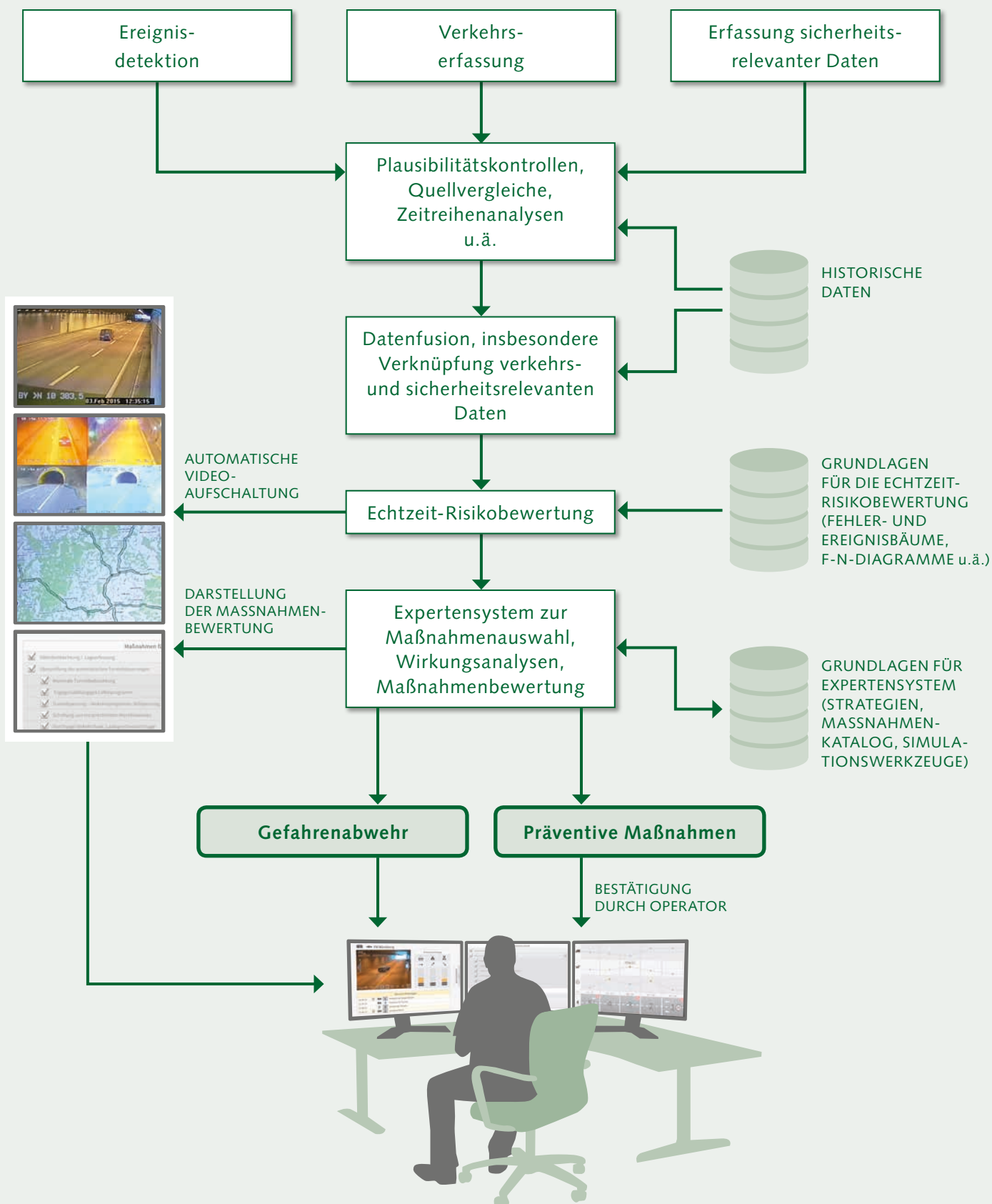


Abbildung 1 veranschaulicht den grundsätzlichen Systemaufbau eines Expertensystems von der Datenerfassung bis zur präventiven Handlung durch den Operator.

Betriebs- und sicherheitstechnische Tunnelausstattung für den Regelbetrieb und im Ereignisfall nach RABT. Links: Fluchtwegkennzeichnung. Rechts: Strahlventilatoren.



Abbildung 1:
SYSTEMÜBERSICHT UND DATENFLUSS



ESIMAS- Zentralkomponenten

DATENFUSION

Zur Bewertung der Risikosituation in einem Tunnel werden als Ansatz für das ESIMAS sogenannte Initialereignisse definiert. Dies sind Ereignisse, die nach Möglichkeit zu vermeiden oder aber im Ausmaß so gering wie möglich zu halten sind. 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 sind **gängige Initialereignisse der Unfall, der Brand und Ereignisse mit Beteiligung von Gefahrgütern**.

Um Aussagen über die Eintrittswahrscheinlichkeit der definierten Initialereignisse zu erlangen, werden die Daten der im zu überwachenden Objekt installierten Detektionstechnik herangezogen. Dabei sind diese Daten vorab auf herkömmliche Art und Weise mittels geeigneter und zur Datenart passender Methoden wie Wertebereichsprüfungen, Differentialkontrollen, Anstieg-Abfall-Kontrollen und logischer Abgleiche auf Ebene eines Detektors oder einer Gruppe von in räumlicher oder logischer Abhängigkeit stehender Detektoren zu plausibilisieren (*Abbildung 2*).

Die in der Regel heterogenen Messwerte und Ereignismeldungen werden in der Datenfusion primär über logische Verknüpfungen in einen Zusammenhang gesetzt und hin zu den Initialereignissen fusioniert. Dabei können die logischen Verknüpfungen z. B. so gewählt werden, dass bereits eine einzelne Detektion zu einer Erhöhung der Eintrittswahrscheinlichkeit eines Initialereignisses führt.

Es lassen sich aber auch Verknüpfungen erstellen, die erst bei Auftreten mehrerer Detektionen mit räumlicher, zeitlicher oder logischer Abhängigkeit als Ergebnis eine erhöhte Eintrittswahrscheinlichkeit liefern. Gerade durch letztere Methode kann auch eine weitere Ebene der Plausibilisierung von Eingangsdaten realisiert werden (*Ebene 1 im Beispiel der Abbildung 2*).

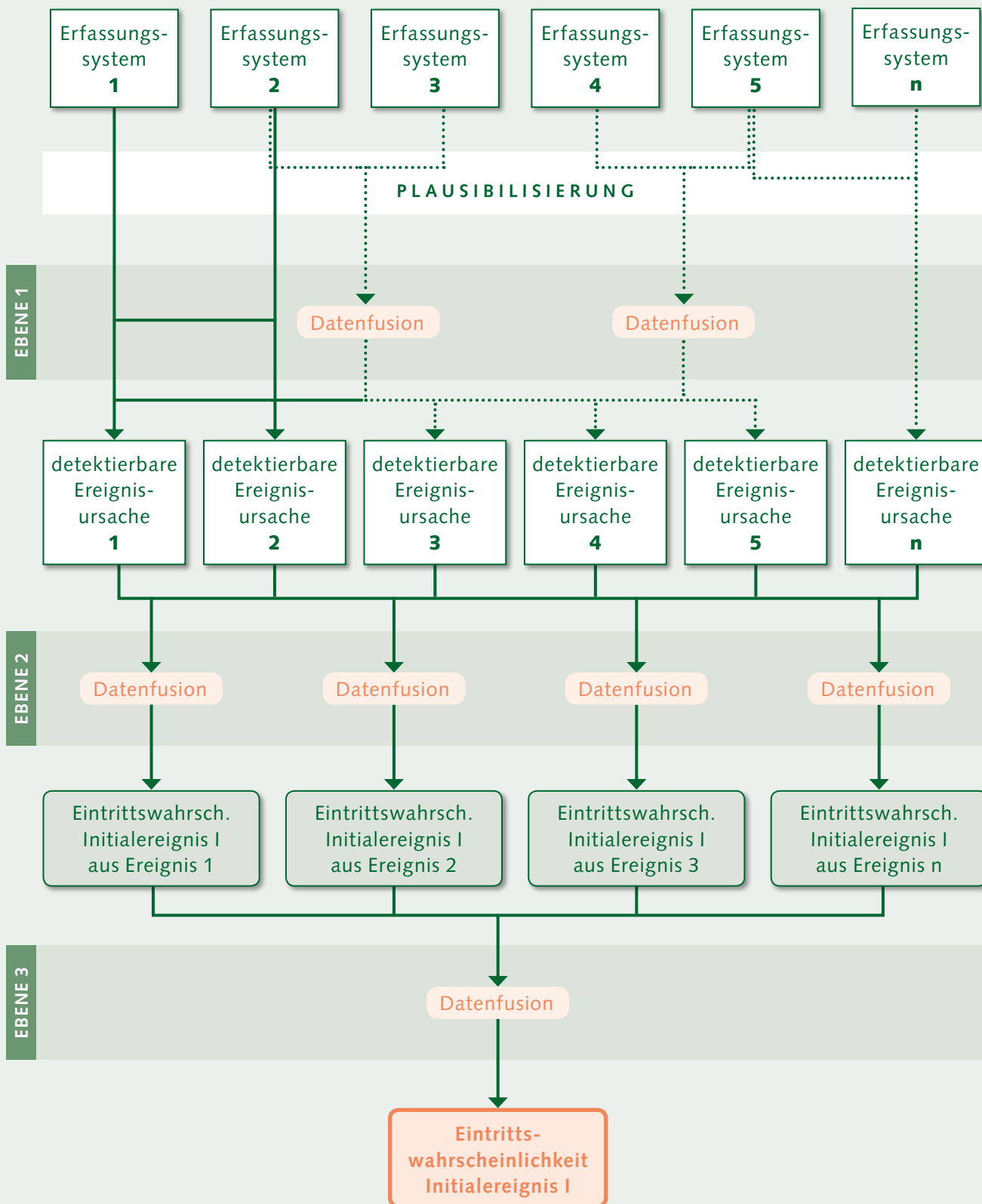


Abbildung 2 zeigt den logischen Ablauf der Datenfusion durch das Expertensystem.

Die Einhausung Goldbach Hösbach im Zuge der BAB A3 wird von der Verkehrs- und Betriebszentrale Nordbayern überwacht und diente im Forschungsprojekt als Demonstrator für den ESIMAS-Prototyp.



Abbildung 2:
SYSTEMATIK DER DATENFUSION



ONLINE-RISIKOANALYSE UND -BEWERTUNG

Mit Hilfe der Online-Risikoanalyse können Aussagen zum aktuell vorhandenen Sicherheitsniveau in einem Tunnel getroffen werden. Ergebnis der Online-Risikoanalyse sind dimensionslose Risikowerte, die sich wie folgt aus der Verknüpfung der Eintrittswahrscheinlichkeit von Ereignissen mit dem Schadensausmaß bei Eintritt des jeweiligen Ereignisses ergeben:

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

Grundlage für die Ermittlung der Risikowerte bildet die Methodik der quantitativen Risikoanalyse (QRA), wodurch sowohl Schadensausmaße als auch deren Eintrittswahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden.

Einen Teil der Schadensausmaßberechnungen stellen umfangreiche CFD-Simulationen auf Basis realgetreuer Tunnelmodelle zur Ermittlung der Auswirkungen von Bränden dar. Da diese Berechnungen, aber auch die der weiteren Bestandteile der Risikoanalyse eines hohen Rechen- und

Zeitaufwandes bedürfen, werden große Teile der Risikoanalyse vorab durchgeführt. Für die Online-Risikoanalyse werden dann die Ergebnisse der den aktuellen Ereignissen im Tunnel am ehesten entsprechenden Simulationsszenarien herangezogen und fließen in die Berechnungen mit ein.

Die Online-Risikobewertung baut auf den Ergebnissen aus der Online-Risikoanalyse auf (*Abbildung 3*). 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 besteht darin, auf Basis bewerteter Risiken eine Beurteilung der momentanen Sicherheitslage zu ermöglichen, um gegebenenfalls risikomindernde Maßnahmen einleiten zu können. Hierzu werden bestehende Erkenntnisse zur Akzeptanz von Risiken im Bereich von Straßenverkehrsinfrastrukturen systematisch aufbereitet. Mittels einer Sensitivitätsanalyse können ferner die Eingangswerte bzw. Maßnahmen identifiziert werden, welche die Risiken maßgeblich beeinflussen.

Abbildung 3:
ON- UND OFFLINE-KOMPONENTEN EINES ESIMAS

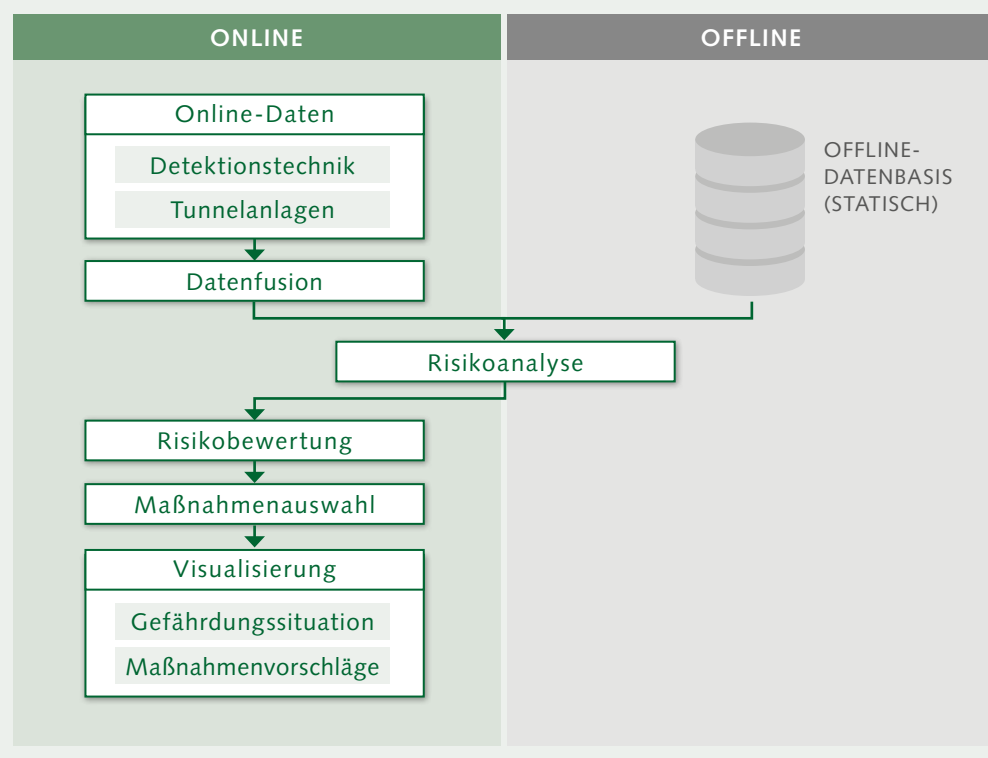


Abbildung 3 stellt das Zusammenspiel von On- und Offline-Daten als Basis der Risikoanalyse und -bewertung dar.

EXPERTENSYSTEM ZUR MASSNAHMENAUSWAHL

Einen wichtigen Bestandteil des ESIMAS stellt das Expertensystem zur Auswahl von Maßnahmen dar. Es ist dafür verantwortlich, auf Basis der aktuellen Risikoanalyse geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Gesamtrisikos im betrachteten Tunnel auszuwählen und den Operatoren vorzuschlagen. 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.

Das Expertensystem setzt auf ein dreistufiges Vorgehen (Abbildung 4). In der Situationsanalyse wird aufgrund der aktuellen Risikoanalyse eine Problemsituation erkannt. Die zweite Stufe der Situationsbewertung führt eine detaillierte Überprüfung der Situation durch. Dabei werden weitere Bedingungen geprüft, um zu ermitteln, wodurch die Erhöhung des Risikos bedingt ist und mit welchen Maßnahmen der Erhöhung entgegengesteuert werden kann. In der letzten Stufe wird aus den möglichen Maßnahmen ein harmonisierter Maßnahmenvorschlag erstellt, der aktuell technisch und logisch umgesetzt werden kann (keine Störung der Aktorik, parallel laufende Maßnahmen) und der auf Grund der Restriktivität ausreichend sein sollte, das Gesamtrisiko zu reduzieren.

Die Logik von der Situationsprüfung über die Maßnahmenwahl und die Maßnahmenharmonisierung bis zum abschließenden Maßnahmenvorschlag sowie die zugehörige Parametrierung werden in einem Workflowsystem realisiert. Die grafische Darstellung und Bearbeitung der Versorgung mit Hilfe von Ablaufdiagrammen bietet eine einfache Möglichkeit, das System auf neue Begebenheiten oder Anforderungen durch den Betreiber anzupassen.

Je nach gewünschter Integrationstiefe kann das Expertensystem dem Operator die Umsetzung von Maßnahmen lediglich vorschlagen oder diese auch automatisch einleiten.

Das Expertensystem greift auf einen integrierten Maßnahmenkatalog zurück, der aus den Vorgaben der RABT 2006 und einer Analyse von Alarm- und Gefahrenabwehrplänen (AGAP) erstellt wurde. Dieser Katalog enthält zu den Ereignissen jeweils geeignete Maßnahmen(-pakete) wie verkehrsbeeinflussende Maßnahmen, Anweisungen an die Tunnelnutzer mit Hilfe von Lautsprecherdurchsagen, die Benachrichtigung von Einsatzdiensten sowie die Auslösung tunnelspezifischer Sicherheitsmaßnahmen (z. B. Sperrung der Tunnelzufahrt, Aktivierung der Brandlüftung).

Eine Umsetzung der vorgeschlagenen Maßnahmen erfolgt durch den Operator über das konventionelle Leitstellensystem. **Optional ist an dieser Stelle auch die Einbindung tunnelspezifischer AGAP und die Erweiterung zu einem (halb-)automatischen System möglich.**

Abbildung 4:
STUFEN DES EXPERTENSYSTEMS

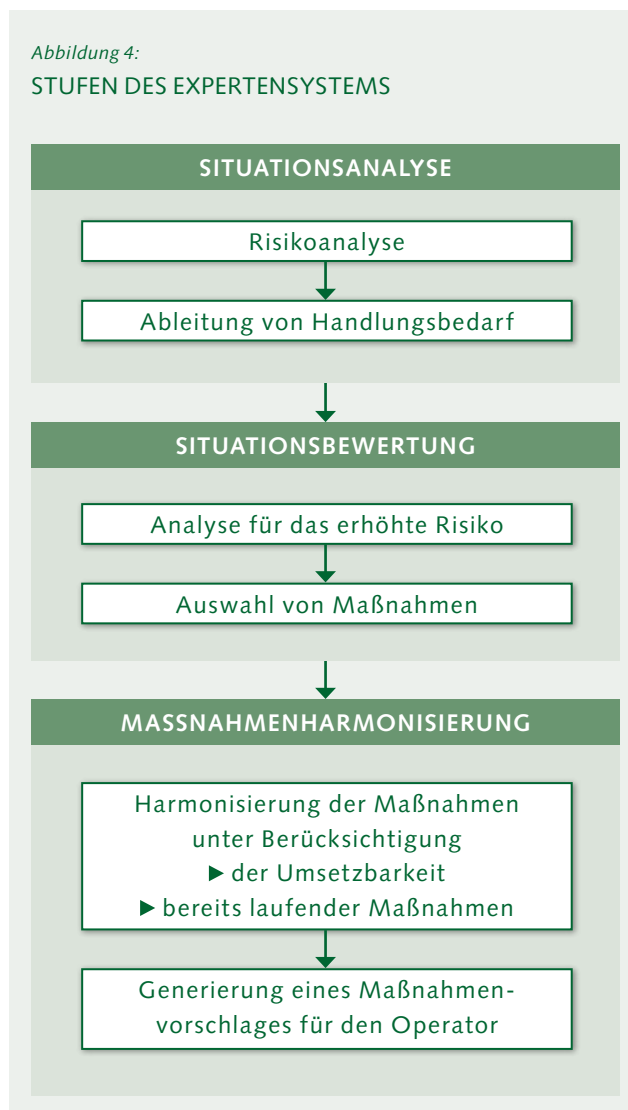


Abbildung 4 zeigt die Einteilung der Datenverarbeitung des Expertensystems in drei aufeinander aufbauenden Stufen.

BENUTZERSCHNITTSTELLE

Eine ergonomische Benutzerschnittstelle bildet die Voraussetzung für ein effizientes Management von Ereignissen und Risiken. Vor dem Hintergrund der zunehmend zentralisierten Überwachung der Tunnel und dem damit verbundenen Anstieg des von den Operatoren zu bewältigenden Informationsaufkommens besteht eine wichtige Aufgabe der Benutzerschnittstelle darin, die hohe Anzahl potenziell verfügbarer Informationen zu filtern und passgenau aufzubereiten, um den Operatoren aufgaben- und entscheidungsrelevante Daten zur Verfügung zu stellen.

Dies betrifft vor allem die drei Aufgabenfelder **Überwachung, Diagnose und Ereignis-/Risikomanagement**, in denen das Ziel der Operatoren darin besteht, Ereignisse und Risiken zu erkennen, ganzheitlich zu verstehen und durch die Einleitung geeigneter Maßnahmen Gefährdungspotenziale zu minimieren.

In diesen drei Phasen treten die höchsten Belastungen in der Tätigkeit der Operatoren auf, da unter Zeitdruck Entscheidungen getroffen werden müssen, die unmittelbare Auswirkungen auf die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer haben.



Abbildung 5: Die Anforderungen der Operatoren an ein Expertensystem wurden während dessen Entwicklung durch eine Nutzeranalyse bei verschiedenen Tunnelleitzentralen erhoben.

Links: Ausschnitt Videoleinwand. Rechts: Interaktion eines Operators mit dem Expertensystem in der VBZ-Nordbayern.

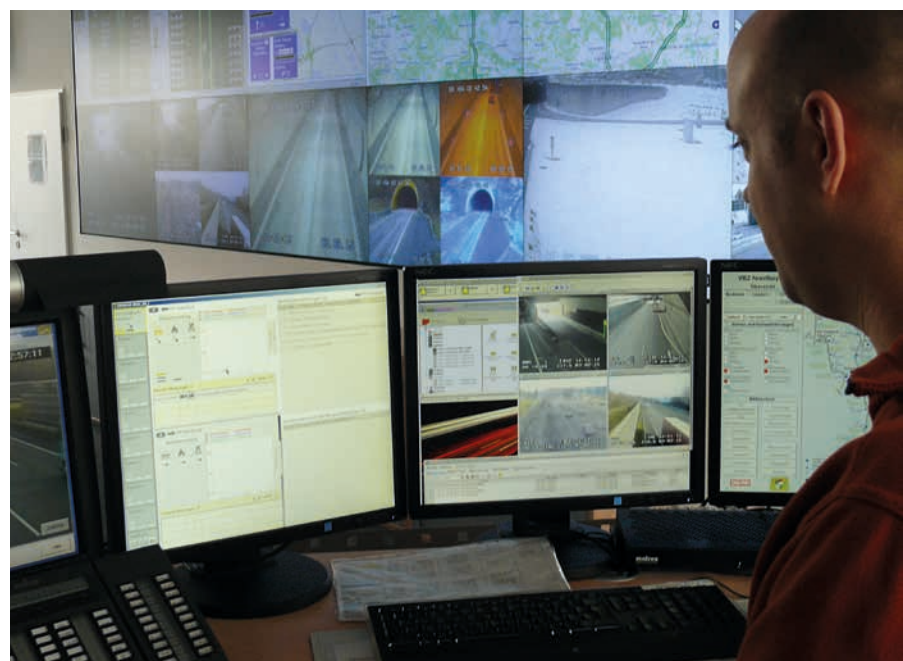
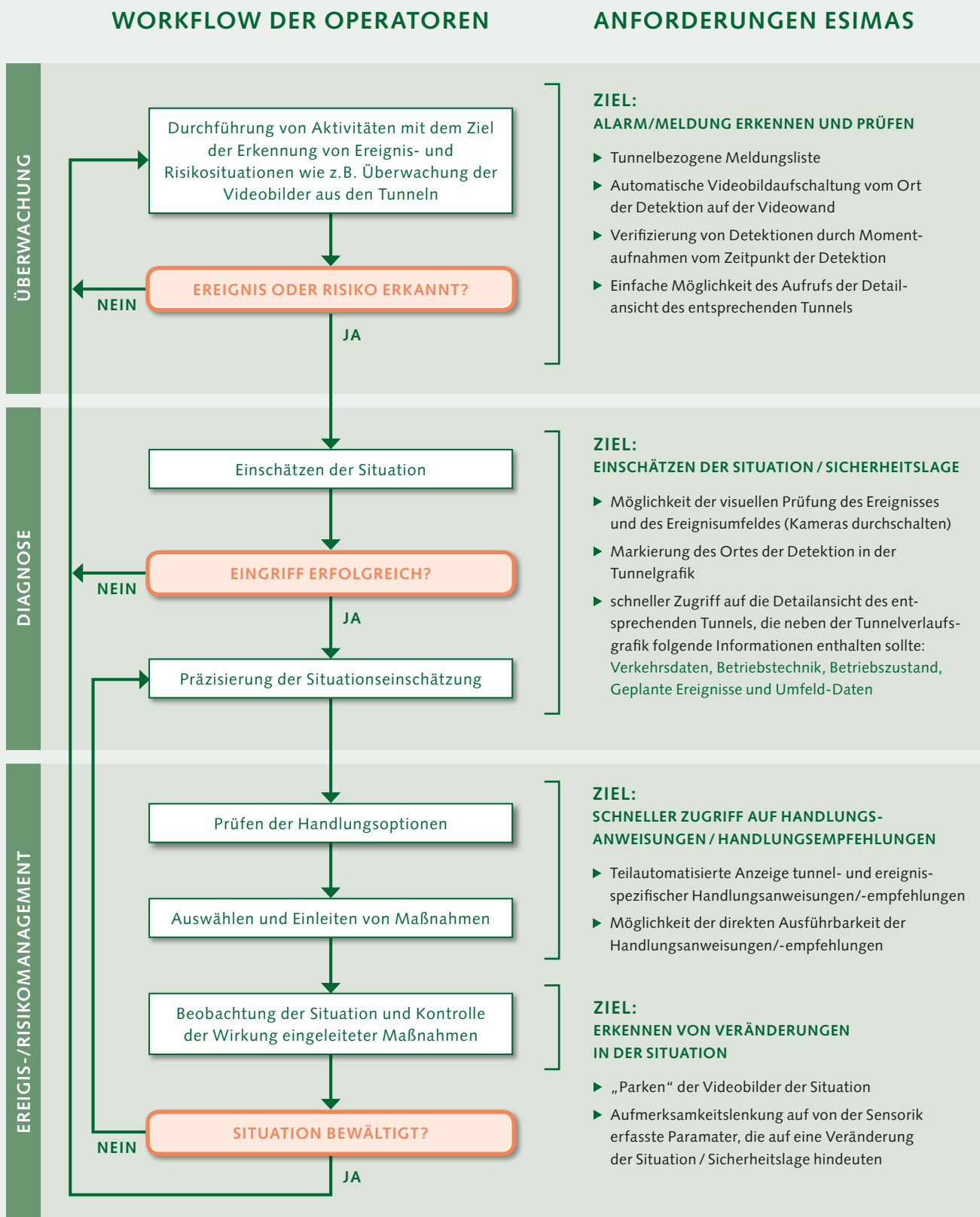


Abbildung 5:
ANFORDERUNGEN DER OPERATOREN AN ESIMAS (WORKFLOWBASIIERT)



HERAUSFORDERUNGEN IN DER ZENTRALISIERTEN TUNNELÜBERWACHUNG

EREIGNISSE UND RISIKEN ERKENNEN (ÜBERWACHUNG)

Eine der größten Herausforderungen für Operatoren ist die Erkennung von Ereignissen in Tunneln. Dies erfolgt primär über die Bilder der Videokameras. Mit steigender Anzahl zu überwachender Tunnel steigt auch die Menge der potenziell verfügbaren Videobilder und es wird zunehmend schwieriger, das gesamte Überwachungsgebiet im Blick zu behalten. Dadurch steigt einerseits die Gefahr von Verzögerungen bei der Erkennung von Ereignissen, aber auch die Belastung der Operatoren, die mit einer permanenten Unsicherheit konfrontiert sind, etwas übersehen zu haben. Innovative Detektionstechnologien zur Ereigniserkennung kommen noch relativ selten zum Einsatz, bilden aber, gerade bei der zentralisierten Überwachung einer Vielzahl von Tunneln, ein wichtiges Hilfsmittel zur frühzeitigen Ereigniserkennung.

Die großen Tunnelkatastrophen um die Jahrtausendwende haben deutlich gemacht, wie wichtig die ersten Minuten nach dem Ereignis sind. Eine zügig eingeleitete Selbstrettungsphase erhöht den Handlungsspielraum der Operatoren und damit die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer deutlich.

EREIGNIS- UND RISIKO- SITUATIONEN GANZHEITLICH EINSCHÄTZEN (DIAGNOSE)

Eine weitere Herausforderung ist die Einschätzung der erkannten Ereignisse und Risiken. Eine präzise, ganzheitliche Situationseinschätzung bildet die Grundvoraussetzung für die Auswahl und Einleitung von Maßnahmen. Neben dem Ereignis selbst müssen sämtliche Rahmenbedingungen, die einen Einfluss auf die Sicherheitslage haben, erkannt und in ihrem Zusammenspiel verstanden werden.

Erschwert wird dieser Prozess durch die stark technologieorientierte Informationsdarstellung auf den Benutzeroberflächen der Leitstellensysteme. Die zur Situationseinschätzung benötigten Informationen müssen meist aus verschiedenen Masken herausgefiltert werden.

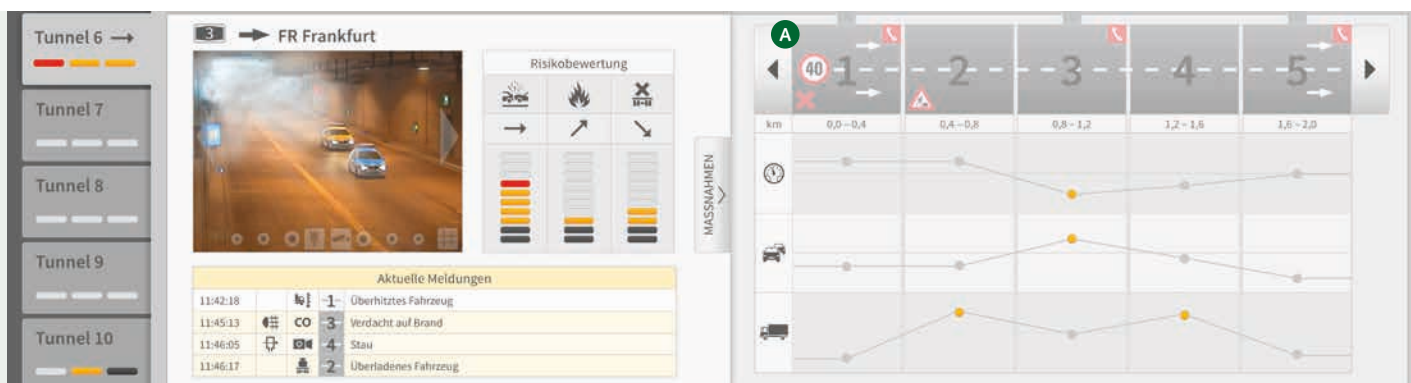
Eine präzise Einschätzung der Situation erfordert einen hohen Interaktionsaufwand mit dem Leitstellensystem. Es besteht keine Möglichkeit, alle relevanten Informationen auf einen Blick zu erkennen und diese vor allem auch im Blick zu behalten. Die zum Teil sehr heterogene Informationsdarstellung in den Oberflächen verschiedener Tunnel erschwert diesen Prozess zusätzlich.

AUSWAHL UND EINLEITUNG VON MASSNAHMEN (EREIGNIS-/ RISIKOMANAGEMENT)

Auf Basis des aufgebauten Situationsverständnisses erfolgt im dritten Schritt die Auswahl und Einleitung von Maßnahmen mit dem Ziel, erkannte Risiken zu minimieren (Prävention) und eingetretene Ereignisse im Ausmaß zu begrenzen.

Grundlage dafür stellen die in den Alarm- und Gefahrenabwehrplänen festgelegten Handlungsanweisungen dar. Diese Pläne sind tunnel- und ereignisspezifisch und liegen meist in Papierform oder digital als PDF vor. Deutliche Geschwindigkeitsvorteile können in dieser Phase durch teilautomatisiert zur Verfügung gestellte Informationen erzielt werden, indem die Operatoren in der Bedienoberfläche aus der Detailmaske eines Tunnels das jeweils vorliegende Ereignis auswählen und das System automatisch die tunnelspezifischen Handlungsanweisungen aufschaltet.

Zudem könnte das System auf Basis der Detektion bereits Vorschläge für entsprechende ereignisspezifische Handlungsanweisungen unterbreiten.



ANFORDERUNGEN DER OPERATOREN

Im Rahmen der zentralisierten Tunnelüberwachung rückt der Operator zunehmend in die Rolle des Entscheiders in einer Vielzahl von komplexen Situationen. Durch die gleichzeitige Überwachung mehrerer Tunnel ist ein hoher kognitiver Aufwand erforderlich, um die Situation in jedem Tunnel jederzeit im Blick zu behalten.

Umso wichtiger sind zuverlässige Technologien, die Ereignisse und Risiken erkennen und zur Bewertung an die Operatoren herantragen. Dabei müssen die Operatoren durch ein System unterstützt werden, das auf die Ziele, die Aufgaben und den Workflow in den Aufgabenfeldern **Überwachung, Diagnose und Ereignis-/Risikomanagement** zugeschnitten ist.

Ein derartiges System muss auf einer kompakten Oberfläche einen schnellen und ganzheitlichen Überblick über die momentane Situation im Tunnel ermöglichen und einfache Möglichkeiten der Informationsvertiefung anbieten. Es muss mit minimalem kognitivem Aufwand möglich sein, das Ereignis selbst sowie sämtliche Rahmenbedingungen, die Einfluss auf die Sicherheitslage im Tunnel haben, zu erkennen und zu verstehen.

Durch gezielte Aufmerksamkeitslenkung und eine Erhöhung der Informationsqualität kann ein effizienteres Handling bei der Überwachung mehrerer Tunnel ermöglicht und die Rolle des Operators als Entscheider gestärkt werden.

In den genannten Aufgabenfeldern müssen die Operatoren unterstützt werden durch:

- ▶ Automatisierte Detektion von Ereignissen und Risikosituationen
- ▶ Plausibilisierung der Detektionen zur Reduzierung von Fehlmeldungen
- ▶ Aufmerksamkeitslenkung auf detektierte Ereignisse und ermittelte Risikosituationen
- ▶ Gesamtübersicht aller zu überwachenden Tunnel, die bereits eine grobe Einschätzung der Sicherheitslage in den einzelnen Objekten anzeigt
- ▶ Bereitstellung einer Detailansicht jedes Tunnels, die Informationen zu Verkehrsdaten, dem Status der Betriebstechnik, dem momentanen Betriebszustand, geplanten Ereignissen sowie Umfelddaten liefert und eine schnelle und präzise Situationseinschätzung ermöglicht
- ▶ Aufmerksamkeitslenkung auf Faktoren, die die Sicherheitslage in einem Tunnel beeinflussen
- ▶ Eine aufgabenbezogene und zielführende Informationsdarstellung
- ▶ Homogenes Bedienverhalten der einzelnen Tunnel und einheitliche Darstellung von Prozessbildern
- ▶ Bereitstellung von ins Leitstellensystem integrierten, tunnel- und ereignisspezifischen Handlungsempfehlungen auf Basis der entsprechenden Alarm- und Gefahrenabwehrpläne

Orientiert am Workflow der Operatoren werden die in *Abbildung 5* dargestellten Funktionen und Informationen durch ESIMAS bereitgestellt.



Abbildung 6:
AUSSCHNITT DER
BENUTZEROBERFLÄCHE



Abbildung 6 gibt einen Einblick in die Benutzeroberfläche der Mensch-Maschine-Schnittstelle: Zur Demonstration des ESIMAS-Prototyps in der VBZ-Nordbayern wurde eine eigenständige Oberfläche in der Formatgröße eines Bildschirms entworfen. *Links:* Sicherheitslage mit aufgeschalteten Tunneldetails (A). *Rechts:* Sicherheitslage (Ausschnitt) mit aufgeschalteten Handlungsempfehlungen (B).

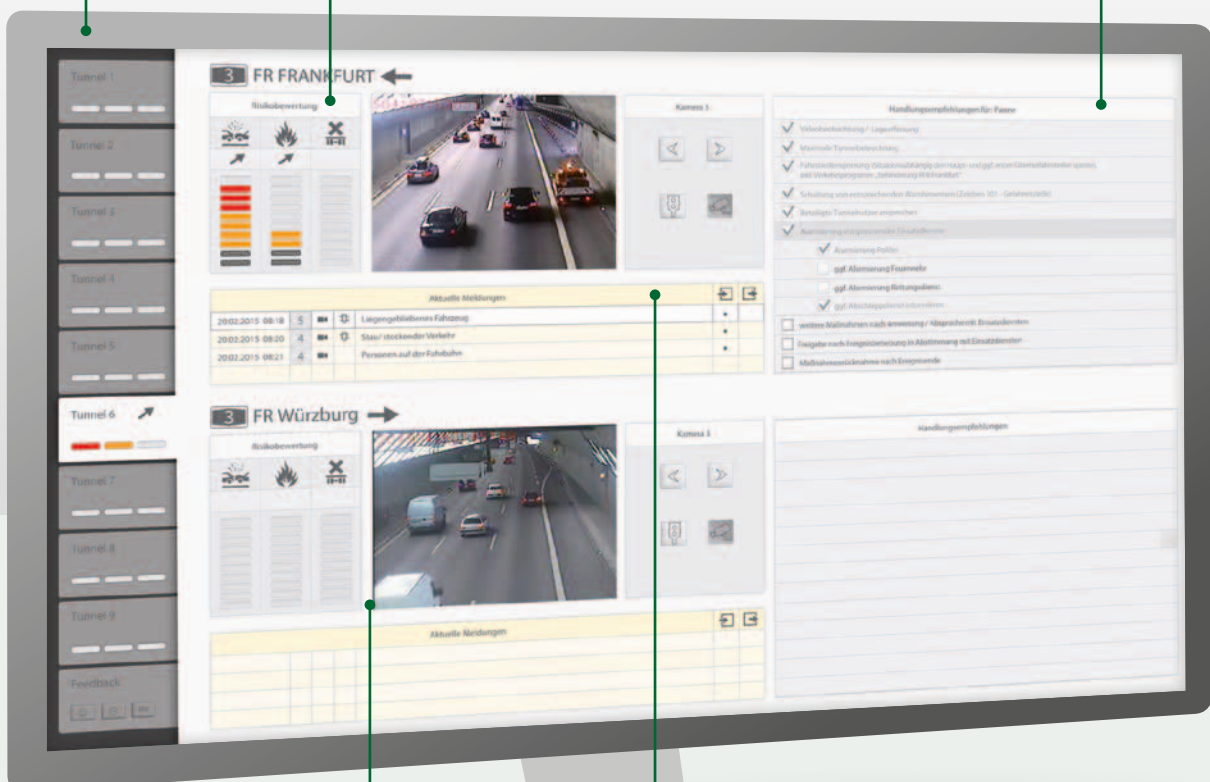
PROTOTYPISCHE UMSETZUNG DER ESIMAS-BEDIENOBERFLÄCHE

GESAMTSICHERHEITSLAGE

Dieser Bereich ermöglicht eine Übersicht über alle Tunnel im Überwachungsgebiet. Durch eine Vorschau auf die Risikobewertung der einzelnen Tunnel wird die Aufmerksamkeit der Operatoren gezielt gelenkt. Je nach Risikoanzeige kann eine Auswahl auf die Detailsicht des betroffenen Tunnels erfolgen. Die Detailsicht erfolgt getrennt nach Fahrrichtungen. Der Überblick über die Überwachungsobjekte bietet einen schnellen Zugriff auf die Detailsicht der einzelnen Tunnel. Auf den Buttons der einzelnen Tunnel wird bereits eine Vorschau auf die von der Risikobewertung ermittelten Risiken für den entsprechenden Tunnel angezeigt, wodurch die Aufmerksamkeit der Operatoren gezielt auf den Tunnel mit dem höchsten Risiko gelenkt werden kann.

RISIKOBEWERTUNG

Die von der Risikobewertung ermittelten Risiken für die Initialereignisse Brand, Unfall und Beteiligung von Gefahrgut werden auf einer zehnstufigen Skala in den Farbabstufungen grau, gelb und rot angezeigt. Grau steht für geringe Risiken, die eher Informationscharakter aufweisen. Gelb deutet auf Risiken hin, die vom Operator überprüft werden sollten, das System hält zudem Handlungsempfehlungen bereit. Rot kennzeichnet sehr hohe Risiken und bereits eingetretene Ereignisse, von denen auch eine hohe Wahrscheinlichkeit für den Eintritt von Folgeereignissen ausgeht.



VIDEOSTEUERUNG

Zur schnellen visuellen Prüfung von Ereignissen und Risiken, des Ereignisumfeldes und zur Anzeige von Momentaufnahmen der Detektion.

MELDUNGSLISTE

Die fahrtrichtungsbezogene Meldungsliste gibt einen chronologischen Überblick über sämtliche Detektionen, die sich auf die Sicherheitslage auswirken. Zudem zeigt sie Informationen zum Ort der Detektion, der auslösenden Detektionstechnologie sowie der Art der Detektion. Die Verortung von Ereignissen und Risiken wird durch die Anzeige entsprechender Icons in den Tunneldetails unterstützt.

Abbildung 7: ESIMAS-BEDIENOBERFLÄCHE

HANDLUNGSEMPFEHLUNGEN

Anzeige von tunnel- und ereignisspezifischen Empfehlungen zur Minimierung der ermittelten Risiken und zur Begrenzung des Schadensausmaßes von Ereignissen. Diese werden je nach vorliegender Situation automatisch angepasst und aufgeschaltet. So wird dem Operator ermöglicht sofort und gezielt einzugreifen.

TUNNELDETAILS

Die Detailsicht des jeweiligen Tunnels soll eine schnelle Einschätzung der Gesamtsituation ermöglichen. Der Aufmerksamkeitslenkung des Operators auf sicherheitsrelevante, vom Normalzustand abweichende Werte kommt dabei eine besondere Bedeutung zu. Deshalb werden Farben vor allem zur Lenkung der Aufmerksamkeit eingesetzt. Die Detailsicht eines Tunnels darf nicht mit Informationen überladen werden. Das Ziel der Operatoren besteht darin, kritische Werte oder Veränderungen zu erkennen und diese bei Bedarf zu detaillieren. Die Detailsicht bietet Informationen zur Verkehrssituation, zu Status und Einschränkungen in der Verfügbarkeit der Betriebstechnik, zum aktuellen Betriebszustand, zu geplanten Ereignissen und zu Umfelddaten.

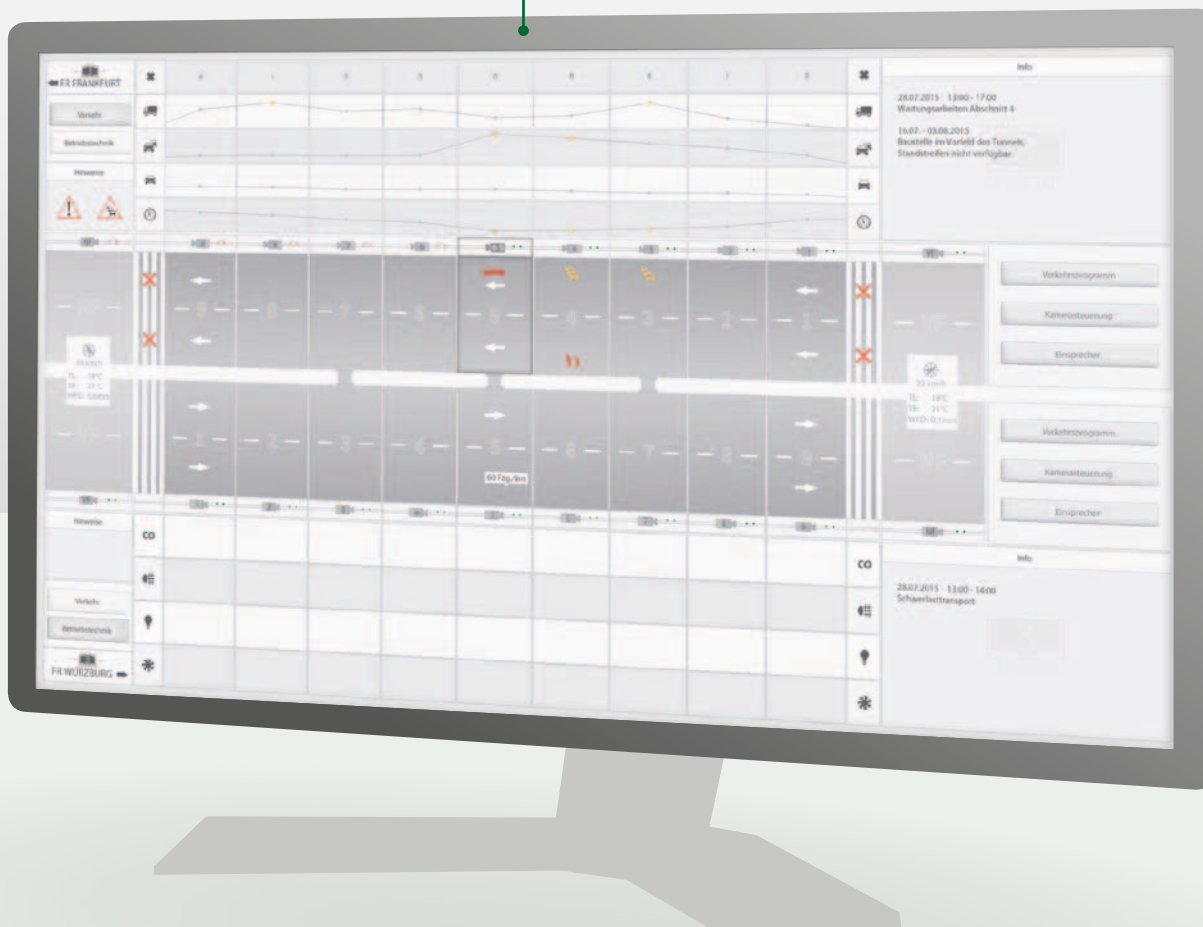


Abbildung 7 stellt die im Rahmen des Forschungsprojektes weiter entwickelte Benutzeroberfläche dar, welche die eingangs erläuterten Anforderungen erfüllt. Im Detail sollten die hervorgehobenen Elemente enthalten sein. Die dargestellte Variante zeigt eine Erweiterung auf zwei Monitore wie sie betreiberspezifisch vorgenommen werden könnte.

ESIMAS Detektionskomponenten

Eine Online-Sicherheitsbewertung des Tunnels kann nur so gut sein wie die Daten und Informationen, die in die Berechnung einfließen. Insofern kommt den grundlegenden Erfassungstechnologien eine überaus hohe Bedeutung zu. ESIMAS lebt von elektronisch verfügbaren Informationen, die im Wesentlichen von unterschiedlichen Systemen im Tunnel kontinuierlich erhoben werden. Ein Mehrwert von ESIMAS besteht darin, dass diese Informationen aus mehreren Quellen zusammengeführt und verknüpft werden, um das momentane Risiko im Tunnel zu bestimmen. Dabei hat ESIMAS den Anspruch, schneller und besser zu informieren als es die einzelnen Messsysteme alleine könnten. Dazu ist ESIMAS auf Eingangsdaten in hoher Qualität angewiesen.

Im Rahmen der Integration eines ESIMAS stellen die zugrundeliegenden Detektionssysteme einen wesentlichen Gesichtspunkt dar. Zusätzlich zu den nach den RABT 2006 vorzusehenden Systemen ermöglicht die Integration der in ESIMAS entwickelten und optimierten Detektionssysteme den benötigten Zugewinn an Datenqualität. Datenfusion und -plausibilisierung kann darauf aufbauend die Entscheidungsgrundlage des Expertensystems weiter absichern.

Die zur Verfügung stehenden Detektionssysteme und die sich daraus ergebenden Möglichkeiten zur gegenseitigen Plausibilisierung der Detektionsdaten sind in *Abbildung 8* zusammengestellt. Die im Rahmen des Forschungsprojekts evaluierten Systeme sind dabei hervorgehoben und werden nachfolgend mit ihren Eigenschaften und Anforderungen zur Verwendung in ESIMAS detaillierter dargestellt.

Die Hinzunahme weiterer Datenquellen ist ohne weiteres möglich. Die Logik zur Fusion und Situationsbewertung des ESIMAS ist generisch ausgelegt, sodass sich prinzipiell jede Detektionsart einbinden lässt, die entsprechende digitale Daten liefern kann. Als Beispiele hierfür sind Car-to-Infrastruktur (C2I) und akustisches Tunnelmonitoring (AKUT) in die Tabelle aufgenommen worden.

Eine weitere Möglichkeit zur Abschätzung des aktuellen Risikos im Rahmen eines ESIMAS besteht in der Detektion von Gefahrguttransporten. Diese können z. B. durch Laserscanner im Verkehrsfluss identifiziert und das trans-

portierte Gefahrgut durch eine digitale Bildauswertung der Gefahrguttafel oder per RFID erkannt werden. Bei einer Fusion dieser Daten mit den Daten einer Achslasterfassung kann zudem unter Umständen auf den Beladungsstatus des Gefahrguttransportes geschlossen werden.

Zur Prävention schwerwiegender Ereignisse im Tunnel ist die Bedeutung von Systemen zur automatischen Störfallfrüherkennung hervorzuheben. So kann beispielsweise eine detektierte Änderung des Verkehrsflusses zu einem frühen Zeitpunkt Hinweise auf einen Störfall liefern bevor sich dieser unter ungünstigen Umständen zu einem Brand entwickeln kann und erst dann von der Brandmeldeanlage detektiert wird.

DATENGRUNDLAGE (DETEKTIONSSYSTEME NACH DEN RABT 2006)

Grundsätzlich können die Daten aller in Straßentunneln nach RABT verbauten Detektionssysteme für ein ESIMAS herangezogen werden. Hierzu gehören sowohl die Systeme, die den Zustand des Bauwerks mit seiner Betriebstechnik erfassen (Brandmeldeanlage, Steuerung der Lüftung, Überwachung der Beleuchtung und Energieversorgung, Steuerung der Tunnelsperreanlage usw.) als auch die verkehrstechnischen Systeme.

Zur direkten oder indirekten Erkennung von Störfällen und zur Gewinnung weiterer Informationen über die aktuelle Sicherheitslage dienen nach den RABT 2006 zunächst die folgenden Systeme:

- ▶ Induktionsschleifen,
- ▶ Brandmeldeanlage,
- ▶ Sichttrübungs- und CO-Messung und
- ▶ Überwachung von Kontakten (Entnahme von Feuerlöschern, Öffnung von Notrufnischentüren).



Abbildung 8 bietet einen Überblick über das Leistungsbild unterschiedlicher Detektionssysteme.

Abbildung 8:
ZUORDNUNG DER DETEKTIONSSYSTEME ZU STÖRFÄLLEN

STÖRFÄLLE (detektierbare Ereignisursachen)	DETEKTIONSSYSTEME NACH DEN RABT 2006						IN ESIMAS EVALUIERTE SYSTEME			WEITERE SYSTEME		
	INDUKTIONS- SCHLEIFEN	BRANDMELDEANLAGE	SICHTTRÜBUNGS- MESSUNG	CO-MESSUNG	ENTNAHMEKONTAKT FEUERLÖSCHER	TÜRKONTAKT NOTRUFKABINE	INTELLIGENTE INDUKTIONSSCHLEIFE	VIDEODETEKTION *	INFRAROTKAMERA, LASERSCANNER	CAR-TO- INFRASTRUCTURE (C2I)	AKUSTISCHES TUNNEL- MONITORING (AKUT)	...
Brand		●	●	●	○		○	●	●		○	
Überhitzung von Kfz-Teilen					○				●			
Falschfahrer	●						●	●		●	●	
Langsam fahrende Kfz am Messquerschnitt	●						●	●				
Stau (auf allen Fahrstreifen) am Messquerschnitt							●	●		●		
Personen im Tunnel					○	○	○	●				
Stau (auf allen Fahrstreifen) am Messquerschnitt	●						●	●		●	●	
Stau im Streckenabschnitt							●	●		●		
Stillstand mind. eines Kfz					○	○	●	●		●		
Stockender Verkehr am Messquerschnitt	●						●	●		●	●	
Stockender Verkehr im Streckenabschnitt							●	●		●		
Unfall							○	○		●	●	

● Direkte Detektion möglich

○ Indirekter Rückschluss auf Störfall/Ereignisursache möglich

* Mögliche Detektionen je nach verfügbarer Bildauswertearithmetik

INTELLIGENTE INDUKTIONSSCHLEIFE

Ein verkehrlich bedingter Störfall kann vorliegen, wenn ein oder mehrere Fahrzeuge ein streckenbezogenes Fahrverhalten zeigen, das von dem in der jeweiligen Verkehrssituation erwarteten kollektiven Verhalten der Fahrzeuge in einem betrachteten Streckenabschnitt abweicht.

Ein solches Fahrverhalten weist nicht zwingend auf einen Störfall hin, sollte aber zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit unverzüglich daraufhin untersucht werden. Selbstredend sollte die vorausgehende Erkennung des Ereignisses ebenfalls umgehend, am besten bereits in der Entstehungsphase geschehen.

Deshalb sollte jedem Störfall durch geeignete verkehrstechnische Maßnahmen begegnet werden. Dies geschieht in der Regel durch Einbindung von Operatoren in Leitzentralen in den reaktiven Maßnahmenablauf.

Links: Fahrzeugüberfahrt WIM-Sensor und Induktionsschleife. Mitte: Nahaufnahme eines eingebauten WIM-Sensors in der Fahrbahn. Rechts: Kalibrierfahrzeug bei der Überfahrt des WIM-Sensors.



FUNKTIONSWEISE DES SYSTEMS

Die automatische Ereigniserkennung 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. All diese Ursachen bewirken eine sofortige Änderung des Fahrverhaltens mit Reisezeitverlust der darin verwickelten Fahrzeuge, sei es direkt oder indirekt, freiwillig im eigenen Sicherheitsinteresse oder erzwungen durch die jeweilige Störfallsituation. Das Ereignis wird dem Operator umgehend automatisch mitgeteilt. Die jeweilige Ursache kann der Operator

dann über die Videobilder aus den betreffenden Streckenabschnitten kognitiv im Detail ermitteln. Daraufhin kann er situationsgerechte Hilfsmaßnahmen einleiten und den weiteren Störfallverlauf hilfsbereit verfolgen.

Das Detektionssystem Intelligente Induktionsschleife kann vorteilhaft mit einem Weigh-in-Motion System (WIM) am Tunneleingang erweitert werden. Damit wird es möglich, fortlaufend das Gewicht der vorbeifahrenden Lastkraftwagen zu erfassen. Im Ereignisfall können hieraus wertvolle Hinweise auf die Art der Fahrzeuge im Tunnel gezogen werden.

MINDESTVORAUSSETZUNGEN

Für die Intelligente Induktionsschleife werden Messquerschnitte mit Doppelschleifen des Typs 2 nach der Spezifikation der TLS benötigt. Diese begrenzen die jeweiligen Messabschnitte zur Ereignisdetektion im Tunnel. Die empfohlene Länge der Messabschnitte ist ca. 300 m, angelehnt an die Anforderung der RABT bezüglich der Ausrüstung von Tunneln über 400 m Länge mit Induktionsschleifen. Abweichungen davon sind prinzipiell möglich. Der minimale Installationsumfang für ein System besteht aus einem Tunnelabschnitt mit zwei begrenzenden Messquerschnitten. An jedem Messquerschnitt befindet sich eine spezielle Außenstation. Die einzelnen Messabschnitte/Streckenabschnitte können mittels Video vom Operator eingesehen werden. Die Außenstationen werden über eine spezielle Unterzentrale koordiniert. Diese Systemkomponenten kommunizieren über ein TCP/IP-Netzwerk. Die Unterzentrale hat eine den jeweiligen Erfordernissen angepasste Kommunikationsverbindung mit einer übergeordneten

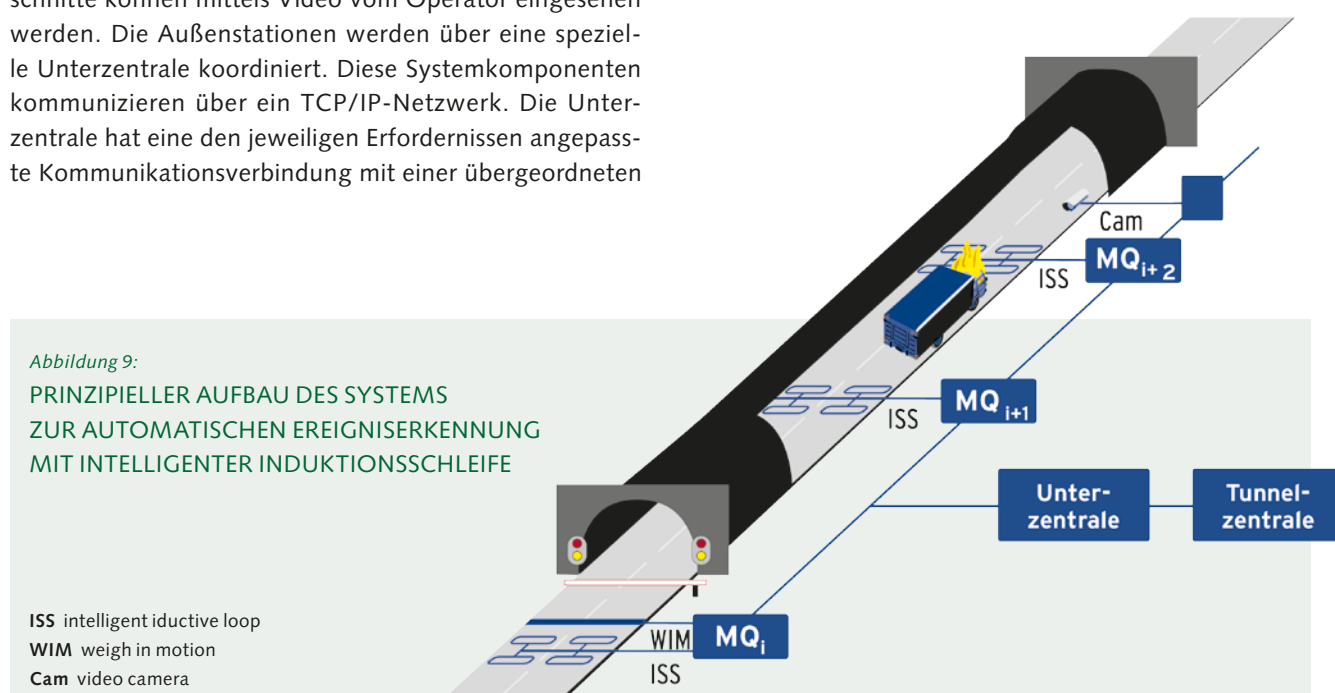
Zentrale. Diese Basisanordnung kann durch Hinzunahme von weiteren Messabschnitten im Tunnel mit entsprechenden Systemkomponenten ausgebaut werden. *Abbildung 9* zeigt den Systemaufbau.

VERKEHRSTECHNISCHE UND OPERATIVE VORTEILE

Zur wirksamen Reduzierung der Arbeitslast der Operatoren in der Tunnelzentrale werden die Störfälle im Tunnel automatisch und zuverlässig gemeldet, d. h. Fehlalarme durch falsche oder fehlende Alarmierung von Ereignissen sind minimal. Die Operatoren können die gemeldeten Ereignisse per automatisch aufgeschalteten Videobild leicht und vollständig auf ihr Störfallpotential hin analysieren und daraufhin ggf. notwendige und geeignete Maßnahmen unverzüglich einleiten. Dadurch wird wertvolle Zeit zur Selbst- und Fremddrettung bei Unfällen gegenüber der heutigen installierten Technik in Tunneln gewonnen. Die Verkehrssicherheit in Tunneln wird so wesentlich erhöht.

In ESIMAS wurde vom Projektpartner ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH die bei ihm bereits vorhandene automatische Ereigniserkennung mittels Intelligenter Induktionsschleife zu den vorgenannten Zielen erfolgreich weiterentwickelt und optimiert.

Abbildung 9:
PRINZIPELLER AUFBAU DES SYSTEMS
ZUR AUTOMATISCHEN EREIGNISERKENNUNG
MIT INTELLIGENTER INDUKTIONSSCHLEIFE



VIDEODETEKTION

Für die Datengrundlage der Risikobewertung durch das ESIMAS-Expertensystem aber auch zur kontinuierlichen Überwachung der Verkehrssituation ist der Einsatz eines automatisierten videobasierten Auswertesystems der Überwachungskameras sinnvoll. Im Rahmen des Forschungsprojektes ESIMAS wurde am Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen 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 genutzt werden, um die Basiswahrscheinlichkeiten abzuleiten

Links: Videobasierte Fahrzeugdetektion und -verfolgung. Rechts: Ereignisdetektion (hier: stehengebliebenes Fahrzeug) im Demonstrator.



FUNKTIONSWEISE DES SYSTEMS

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

Die in dem Tunnel verbauten Kameras sind vorab softwaretechnisch zu kalibrieren, um eine Rückrechnung der Bildkoordinaten auf die Koordinaten der Fahrbahnoberfläche zu ermöglichen. Durch eine Analyse der Bewegungstrajektorien entstehen Weg-Zeit-Diagramme, welche ausgewertet werden können, um verkehrstechnische Kenngrößen abzuleiten und Ereignisse zu detektieren (Abbildung 10). Die ermittelten Daten werden in einer Datenbank abgespeichert und über übliche Kommunikationsprotokolle an das ESIMAS weitergeleitet.



MINDESTVORAUSSETZUNGEN

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. Hier sollten vor allem datenschutzrechtliche Anforderungen beachtet werden. Das Auswertesystem ist durch redundante Netzwerktechnik und eine eigene unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gegen Ausfall einzelner Hardwarekomponenten abzusichern.

VERKEHRSTECHNISCHE UND OPERATIVE VORTEILE

Über die Verkehrsdaten hinaus können potenzielle und eingetretene Ereignisse innerhalb kürzester Zeit durch die Videodetektion erkannt werden:

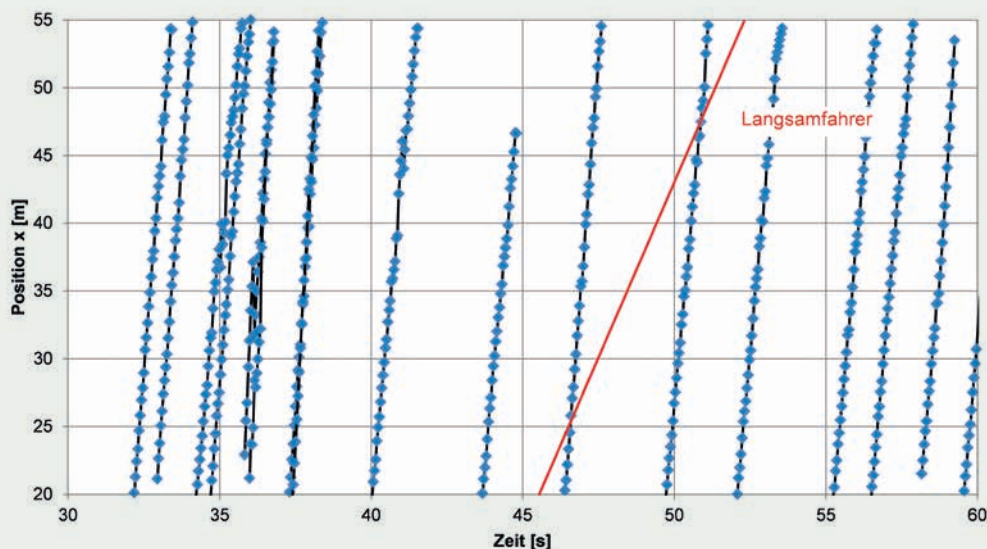
- ▶ Stau, stockender Verkehr,
- ▶ langsam fahrende Fahrzeuge,
- ▶ Stillstand von Fahrzeugen,
- ▶ Falschfahrer,
- ▶ Fahrzeuge auf dem Seitenstreifen oder in einer Pannenbucht und
- ▶ Personen auf der Fahrbahn.

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 wie beispielsweise besonders viele Fahrstreifenwechsel oder abrupte Bremsmanöver in Betracht gezogen werden.

Abbildung 10: Exemplarisches Weg-Zeit-Diagramm einzelner Fahrzeuge und Detektion eines langsam fahrenden Fahrzeugs.



Abbildung 10:
WEG-ZEIT-DIAGRAMM
EINES LANGSAMFAHRERS



ERKENNUNG ÜBERHITZTER FAHRZEUGE

Als Teil der neuartigen Detektionssysteme wurde durch SPI Dresden ein System zur Erkennung von überhitzten Fahrzeugteilen („Hotspots“) im fließenden Verkehr entwickelt und getestet. Durch die Hotspotdetektion kann die Verfügbarkeit der Verkehrsinfrastruktur erhöht werden, da durch das System bedrohliche Situationen wie Brände in Tunneln vermieden werden können.

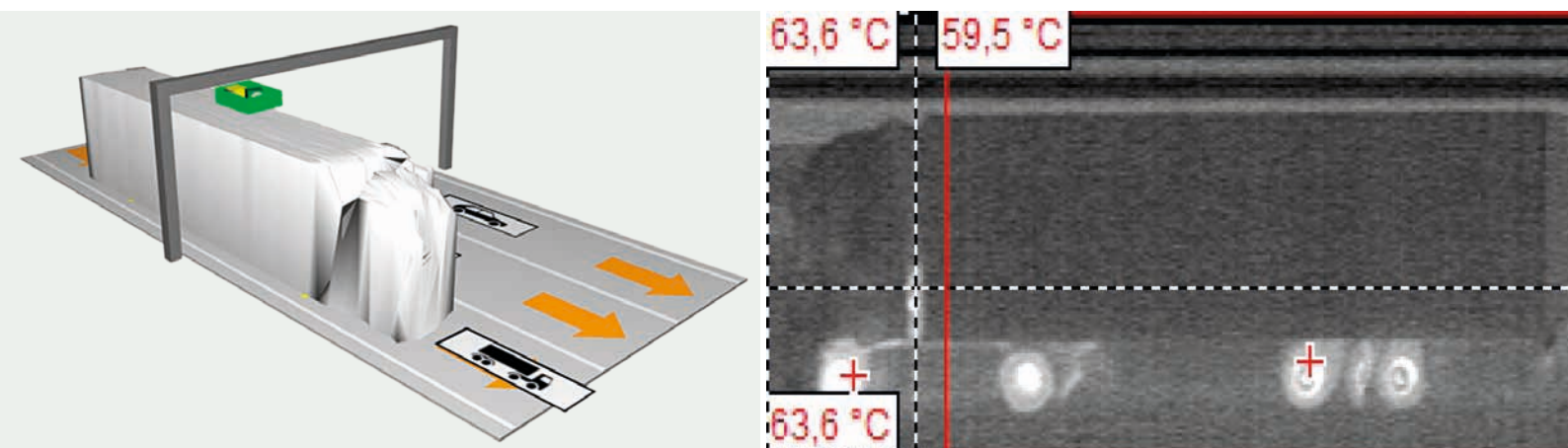
Das System kann sowohl als Einzellösung als auch als Ergänzung für Informationssysteme in Leitsystemen betrieben werden, wo es nützliche Informationen für Operatoren liefert. Als Einsatzort werden vor allem sensible Infrastrukturbauwerke wie Tunnel, Tunnelketten oder Brücken gesehen.

FUNKTIONSWEISE DES SYSTEMS

Die zentralen Elemente der Hotspot-Detektion werden durch zwei Infrarotkameras sowie einen Laserscanner gebildet (siehe Abbildung 11). Diese Sensoren liefern Daten über Fahrzeugtyp, Abmessungen, Geschwindigkeit und Oberflächentemperatur der Fahrzeuge. Das System wird durch zusätzliche Videokameras ergänzt. Sämtliche Daten werden von einem separaten Server verarbeitet und gespeichert.

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

Links: Silhouettenerkennung mittels Laserscanner zur Angabe der Fahrzeugklasse. Rechts: Infrarotbild mit Hotspots des Detektionssystems zur Erfassung überhitzter Fahrzeugteile.



MINDESTVORAUSSETZUNGEN

Für den Bereich der Tunnelüberwachung eignen sich beispielsweise Schilderbrücken im Vorfeld eines Tunnels zur Installation des Detektionssystems.

Eine Datenverbindung zur Tunnelleittechnik sollte gegeben sein. Um einen störungsfreien Betrieb des System zu gewährleisten, sollte der Standort so gewählt werden, dass wie bei allen optischen Messverfahren der Einfallsbereich der Kameras frei von reflektierender Sonneneinstrahlung ist. Ebenso muss gewährleistet werden, dass beim Einsatz des Laserscanners keine Signalstörungen durch weitere Technologien entstehen, die den gleichen Frequenzbereich nutzen. Weiterhin sollte der Standort nicht zu nah am Portal gewählt werden, um bei einer Detektion genügend Reaktionszeit für das Überwachungspersonal zu erhalten und um das entsprechende Fahrzeug ggf. an einer Ausfahrt vor dem Tunnel ausleiten oder eine Tunnelsperrung einleiten zu können.

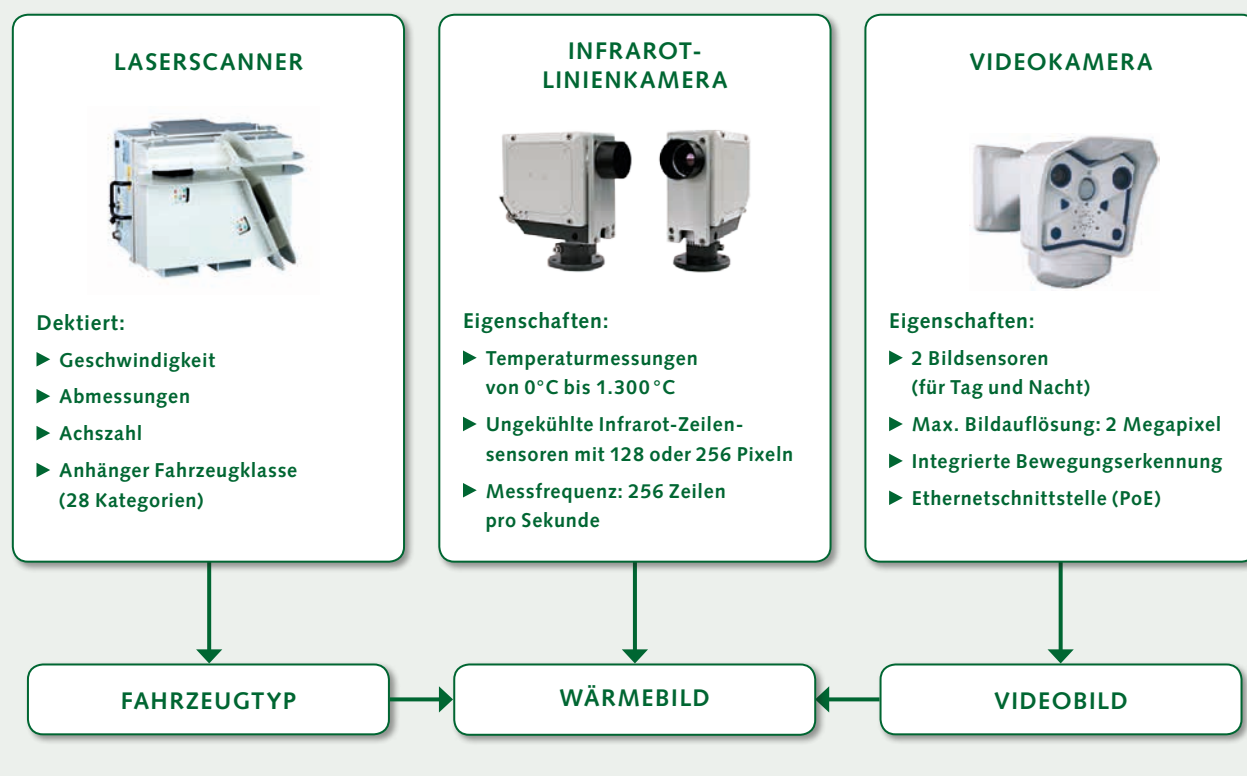
VERKEHRSTECHNISCHE UND OPERATIVE VORTEILE

Der wesentliche Vorteil dieses Detektionssystems ist die Erkennung von überhitzten Fahrzeugen, die zu Bränden führen können. Durch die Erkennung dieser vor Einfahrt in den Tunnel können frühzeitig und gezielt Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

Die Überprüfung der Fahrzeuge auf kritische Temperaturen findet berührungslos im fließenden Verkehr statt, ohne den Verkehrsfluss zu beeinträchtigen. Somit eignet sich das System besonders für stark frequentierte Strecken.

Abbildung 11:

ZUSAMMENWIRKEN DER SENSOREN



Integration in die Leit- und Automatisierungstechnik

Wie jedes Tunnelbauwerk ist auch jedes ESIMAS ein Unikat und wird individuell an die Voraussetzungen und Bedürfnisse einer jeden Leitstelle angepasst. **Der modulare Aufbau ermöglicht für jede Integration die passende Konfigurationsmöglichkeit.**

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 sind lediglich 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.

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

Voraussetzung ist, dass sowohl die Leit- und Automatisierungstechnik als auch das Expertensystem diese Kopplung unterstützen. Die Kopplung kann, je nach Bedarf, vor Ort am Tunnel auf Anlagenleit- oder Automatisierungsebene (ein ESIMAS-Kern je Tunnel) oder auf der übergeordneten Leitebene in der Leitzentrale (ein ESIMAS-Kern für alle Tunnel) erfolgen. Abhängig ist dies davon, ob auf der übergeordneten Leitebene alle für das ESIMAS relevanten Daten vorhanden sind. Das letztliche Expertensystem, das die Risikobewertung und die Maßnahmenauswahl durchführt, ist dann auf der übergeordneten Leitebene verortet.

Eine entsprechende mögliche Systemkonfiguration ist in *Abbildung 12* 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. Bei der Demonstration des Prototyps 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.

Technische Voraussetzungen

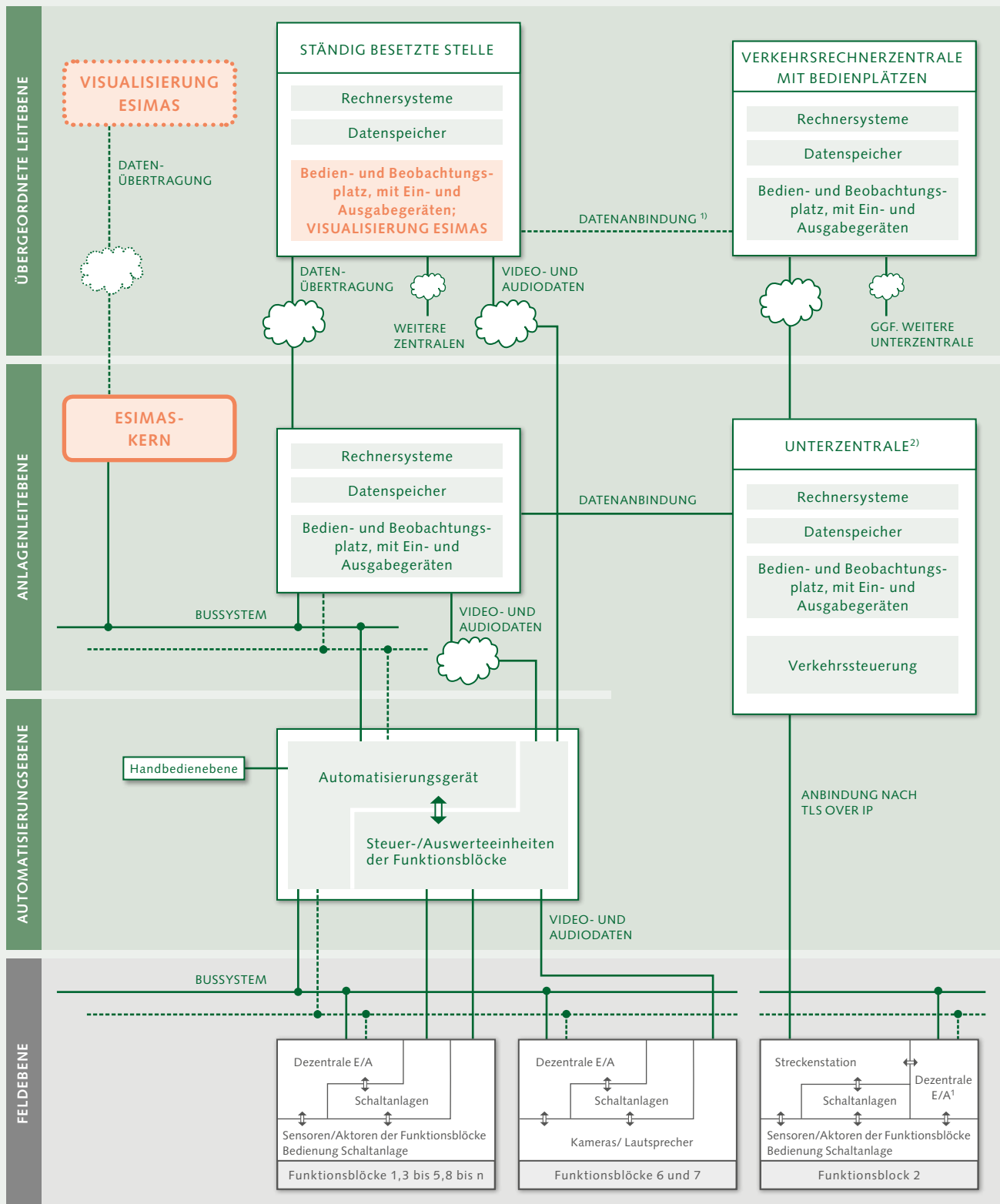
Aus der Darstellung der Funktionsweise eines ESIMAS ist ersichtlich, dass ein Tunnel, für den dieses System eingesetzt werden soll, über eine Leit- und Automatisierungstechnik verfügen muss, die es ermöglicht, die erforderlichen Informationen in einer akzeptablen Reaktionszeit bereitzustellen. Hierbei sollten bei einer zyklischen Steuerprogrammabarbeitung 50 Millisekunden nicht überschritten werden.

Zur zeitnahen Darstellung der Informationen für die Operatoren in der Tunnelüberwachung sind Leitsysteme und Datenübertragungswege erforderlich, die die Laufzeit der Informationen zwischen Signaleingang am Automatisierungssystem oder Signalerzeugung im Automatisierungssystem und Anzeige in der Visualisierung auf maximal fünf Sekunden begrenzen. Wie beschrieben muss die Leit- und Automatisierungstechnik in der Lage sein, die erforderlichen Datenschnittstellen bereitzustellen.

Da nur die zeitnahe Darstellung der Sicherheitslage die Tunnelüberwachung in die Lage versetzt präventiv zu handeln, sind auch die Reaktionszeiten der Sensoriksysteme möglichst gering zu halten.

Absolute Aussagen über maximale zulässige Zeiten können hierzu nicht gemacht werden, da diese von unterschiedlichen Faktoren abhängig sind. So hat z. B. neben der Tunnellänge auch die Geschwindigkeit des Verkehrs Einfluss auf die Eignung der systembedingten Reaktionszeiten.

Abbildung 12:
 SYSTEMKONFIGURATION MIT EINEM ESIMAS; ARCHITEKTUR DER LEIT- UND
 AUTOMATISIERUNGSTECHNIK GEMÄSS ENTWURF DER RABT 2015



1) Im Bedarfsfall

2) Alternativ in Anlagenleitebene / Automatisierungsebene integriert

Konfiguration und Betrieb

Bevor ein ESIMAS in Betrieb genommen werden kann, muss das System zunächst auf die lokalen Gegebenheiten des zu überwachenden Zielbereiches eingestellt bzw. angepasst werden.

Eine Aufgabe besteht dabei in der Erstellung eines virtuellen Tunnelmodells für den ESIMAS-Kern. Dieses Modell bildet die für die Risikoanalyse des ESIMAS relevanten Komponenten der Tunnel- und Detektionstechnik ab. Hauptbestandteile sind dabei die genaue Verortung sowie die Spezifikation der von den Komponenten zu empfangenden Daten (Ereignis- und Statusmeldungen, Messwerte, etc.).

Ein wichtiger Bestandteil der Risikoermittlung ist die Bestimmung des Ausmaßes von Brandereignissen. Hierzu sind im Vorfeld und „offline“ eine Reihe von CFD-Simulationen in einem originalgetreuen Computermodell des zu beobachtenden Tunnels erforderlich. Dabei werden verschiedene Szenarien durchgespielt, die es später ermöglichen, für die aktuelle Situation auf Basis bestimmter Parameter und für sie definierter Werteklassen die passenden Teilszenarien auszuwählen, um so das aktuell anzunehmende Ausmaß eines Brandereignisses zu bestimmen.

Weitere vorbereitende Arbeiten sind die Definition von zu behandelnden (Initial-)Ereignissen und die Festlegung der dafür notwendigen Detektionsarten und -meldungen, die Zusammenstellung von auf die Ereignisse abgestimmten präventiven und reaktiven Maßnahmenpaketen sowie die Definition von Schwellenwerten zur Auslösung der Maßnahmen.

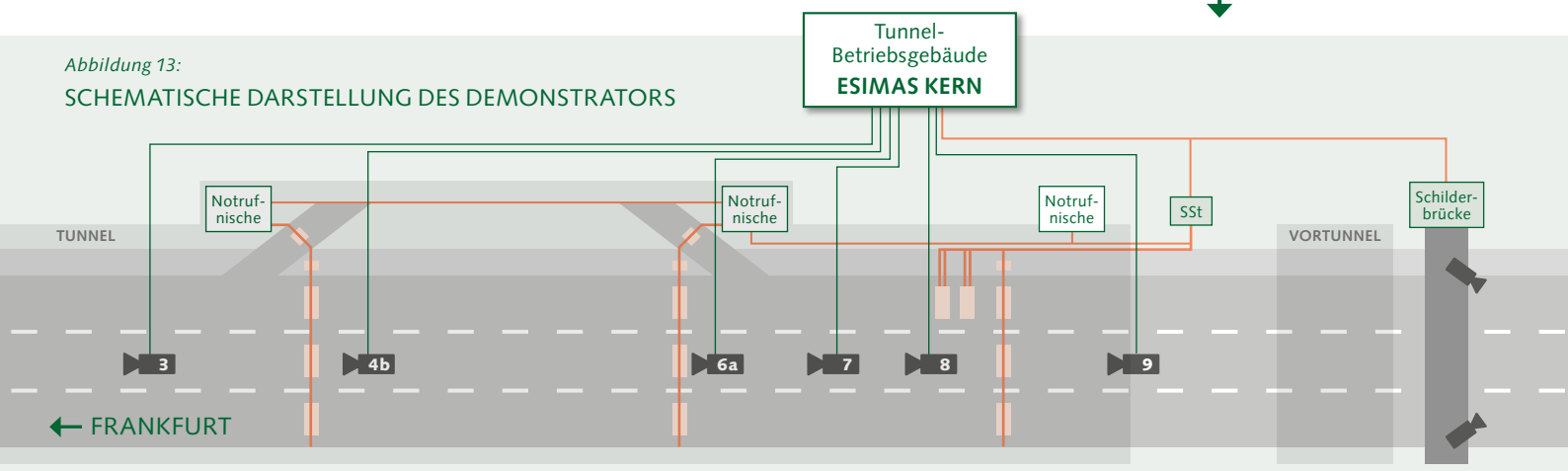
Nach der Installation und Konfiguration des ESIMAS wird das System in einem ausführlichen Testbetrieb überprüft und kalibriert. Dabei wird zum einen die Funktionsfähigkeit der Kommunikation zwischen dem ESIMAS und den Daten liefernden Systemen überprüft. Zum anderen wird das vorkonfigurierte ESIMAS im Zuge des Testbetriebs auf stimmige Wiedergaben realer Situationen sowie plausible Reaktionen auf Ereignisse untersucht und gegebenenfalls einer Optimierung der entsprechenden Systemparameter unterzogen.

Während des Testbetriebs sind die Operatoren der Leitzentrale im Umgang mit dem System und seiner Bedienung zu schulen. Dabei bietet das bereits auf die real zu überwachenden Objekte abgestimmte laufende System eine gute Möglichkeit, das ESIMAS in einer gewohnten Umgebung mit bekannten Bezügen kennenzulernen. Ein besonderer Fokus der Schulung sollte auf der Sensibilisierung für die im ESIMAS zur Anwendung kommende risikobasierte Herangehensweise zur Gefahrenerkennung liegen.

Im laufenden Betrieb sind vor allem bei Änderungen der für die Risikoermittlung relevanten Randbedingungen entsprechende Anpassungen am System vorzunehmen. Des Weiteren ist die Konfiguration des ESIMAS genauso wie die der zuliefernden Systeme regelmäßig auf Plausibilität und stimmige Wiedergabe realer Situationen zu validieren.

Abbildung 13 visualisiert die Anordnung der innovativen Detektionssysteme im Demonstrator.

Abbildung 13: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES DEMONSTRATORS





Nutzung bestehender Tunnel- und Straßenausstattung zur Installation zusätzlicher Detektionssysteme. Hier exemplarisch eine Schilderbrücke im Tunnelvorfeld mit installiertem Detektionssystem zur Erfassung überhitzter Fahrzeuge.

Demonstration von ESIMAS

Die Demonstration des ESIMAS-Prototyps erfolgte in der Einhausung Goldbach Hösbach im Zuge der BAB A3 nahe Aschaffenburg. Es wurde gezielt ein Bauwerk ausgewählt, welches eine besondere Charakteristik aufweist, mit der die Potentiale des Systems aufgezeigt werden konnten. Das Bauwerk befindet sich im Zuständigkeitsbereich der Autobahndirektion Nordbayern und wird von der Verkehrs- und Betriebszentrale Nürnberg-Fischbach überwacht und betrieben.

Die Funktionalität und der Mehrwert des ESIMAS-Prototyps konnten erfolgreich in einem Demonstrator nachgewiesen werden.

Die Verkehrs- und Betriebszentrale Fischbach. Operatorenraum mit Arbeitsplätzen zur Verkehrs- und Tunnelüberwachung.



DIE VERKEHRS- UND BETRIEBSZENTRALE FISCHBACH IN KÜRZE

Überwachungsgebiet

- ▶ 2 x 1.317 Autobahnkilometer mit 11 Streckenbeeinflussungsanlagen
- ▶ dynamische Netzbeeinflussung auf 1.095 Autobahnkilometern
- ▶ dynamisches Lkw-Parkleitsystem
- ▶ 5 Tunnelbauwerke
- ▶ Verkehrsbelastung von mehr als 100.000 Kfz/24h

Aufgabengebiete

Überwachung der verkehrstelematischen, tunneltechnischen und betriebstechnischen Anlagen und Systeme, Verkehrs- und Wetterbeobachtung, Telefonservice.

Ausstattung

Insgesamt 5 Operatorenarbeitsplätze zur Wahrnehmung der Aufgaben im Schichtbetrieb rund um die Uhr.



ERFAHRUNGEN DES BETREIBERS

INSTALLATION

Die notwendigen Einbauten zur Demonstration des Expertensystems in unserer Lärmschutzeinhausung Goldbach-Hörsbach wurden in einer Nachrüstungsphase sowie mehreren Wartungsphasen realisiert, wodurch keine zusätzlichen Verkehrseinschränkungen notwendig wurden.

TEST

Während des Testbetriebs wurde das Expertensystem in unserer VBZ Nordbayern visualisiert und steht seitdem an allen Arbeitsplätzen zur Verfügung. Unsere Operatoren konnten sich während der Testphase mit der Funktionsweise vertraut machen. Unsere individuellen Anforderungen und Vorstellungen wurden überwiegend berücksichtigt und kontinuierlich in der Benutzeroberfläche eingearbeitet.

BETRIEB

Seit der Betriebsphase Anfang 2015 wird das System bei der täglichen Aufgabenbewältigung der Operatoren mit eingebunden. Die stetige Kalibrierung der einzelnen Systembestandteile wurde durch uns angeregt und bewertet, wodurch mittlerweile ein System mit Mehrwert zur konventionellen Tunnelüberwachung entstanden ist.

NACHNUTZUNG

Nach Projektabschluss wird das Expertensystem weiterhin durch uns genutzt und durch die Projektpartner betreut. An einer Nachnutzung mit einer Übernahme und einem Ausbau des Systems sind wir stark interessiert.

Peter Ermer, Leiter Verkehrs- und Betriebszentrale ABD Nordbayern



Danksagung des Projektkonsortiums

Dieses Dokument wurde durch das Konsortium des Verbundprojektes ESIMAS unter Federführung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in Zusammenarbeit mit:

- ▶ ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH
- ▶ Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen
- ▶ OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG
- ▶ PTV Transport Consult GmbH
- ▶ SPI Dresden GmbH
- ▶ Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA)
- ▶ Institut für Medientechnik der TU Ilmenau

erarbeitet.

Das Konsortium möchte dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie sowie dem Projektträger TÜV Rheinland seinen Dank aussprechen. Ein besonderer Dank gilt den Teilnehmern der Workshops sowie den Unterstützern der Erhebungen im Rahmen von ESIMAS. Besondere Erwähnung gilt der Autobahndirektion Nordbayern wie auch der Verkehrs- und Betriebszentrale Fischbach für die wertvolle Zusammenarbeit im Laufe des Projekts.

Die Finanzierung von ESIMAS erfolgte aus dem Verkehrsforschungsprogramm der Bundesregierung „Mobilität und Verkehr“.

HAFTUNGS AUSSCHLUSS

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.

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

Bundesanstalt für Straßenwesen

Abteilung Brücken- und Ingenieurbau,

Referat Tunnel- und Grundbau, Tunnelbetrieb, Zivile Sicherheit

Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach, Deutschland

+49 (0) 022 04 43889

esimas@bast.de

IMPRESSUM

Verantwortlich und Redaktion: ESIMAS-Konsortium **Bildnachweise:** iStockphoto/trendobjects (S.01), Jürgen Bindrim (S. 03), Niedersächsische Landesbehörde für Straßenbau und Verkehr (S. 05), René Legrand (S. 29), ESIMAS-Konsortium.

Gestaltung: Patricia Braun **Druck:** Bundesdruckerei, Bonn **Auflage:** 300 **Erscheinungsdatum:** Dezember 2015


Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)

Brüderstraße 53, 51427 Bergisch Gladbach
www.bast.de – info@bast.de


ave Verkehrs- und Informationstechnik GmbH

Heider-Hof-Weg 23b, 52080 Aachen
www.ave-web.de – info@ave-web.de


Lehrstuhl und Institut für Straßenwesen der RWTH Aachen

Mies-van-der-Rohe-Straße 1, 52074 Aachen
www.isac.rwth-aachen.de – info@isac.rwth-aachen.de


OSMO-Anlagenbau GmbH & Co. KG

Bielefelder Straße 10, 49124 Georgsmarienhütte
www.osmo-anlagenbau.com – info@osmo-anlagenbau.com



the mind of movement

PTV Transport Consult GmbH

Stumpfstraße 1, 76131 Karlsruhe
consult.ptvgroup.com – info@consult.ptvgroup.com


SPI Dresden GmbH

Chemnitzer Straße 46a, 01187 Dresden
www.spi-dresden.de – info@spi-dresden.de


Studiengesellschaft für unterirdische Verkehrsanlagen e.V. (STUVA)

Mathias-Brüggen-Straße 41, 50827 Köln
www.stuva.de – info@stuva.de


Technische Universität Ilmenau
Fachgebiet Medienproduktion - Institut für Medientechnik

Gustav-Kirchhoff-Straße 1, 98693 Ilmenau
www.tu-ilmenau.de/mt-mp – fg-mp@tu-ilmenau.de

FÖRDERER:


Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)

Scharnhorststr. 34-37, 10115 Berlin
www.bmwi.de

PROJEKTTRÄGER:


TÜVRheinland®
Genau. Richtig.

TÜV Rheinland Consulting GmbH

Projektträger Mobilität und Verkehrstechnologien (PT MVt) des BMWi
Am Grauen Stein, 51105 Köln
www.tuvpt.de

Kontakt

Bundesanstalt für Straßenwesen
Abteilung Brücken- und Ingenieurbau
Referat Tunnel- und Grundbau,
Tunnelbetrieb, Zivile Sicherheit

Brüderstraße 53
51427 Bergisch Gladbach
Deutschland

+49 (0) 022 04 43889

esimas@bast.de
www.esimas.de