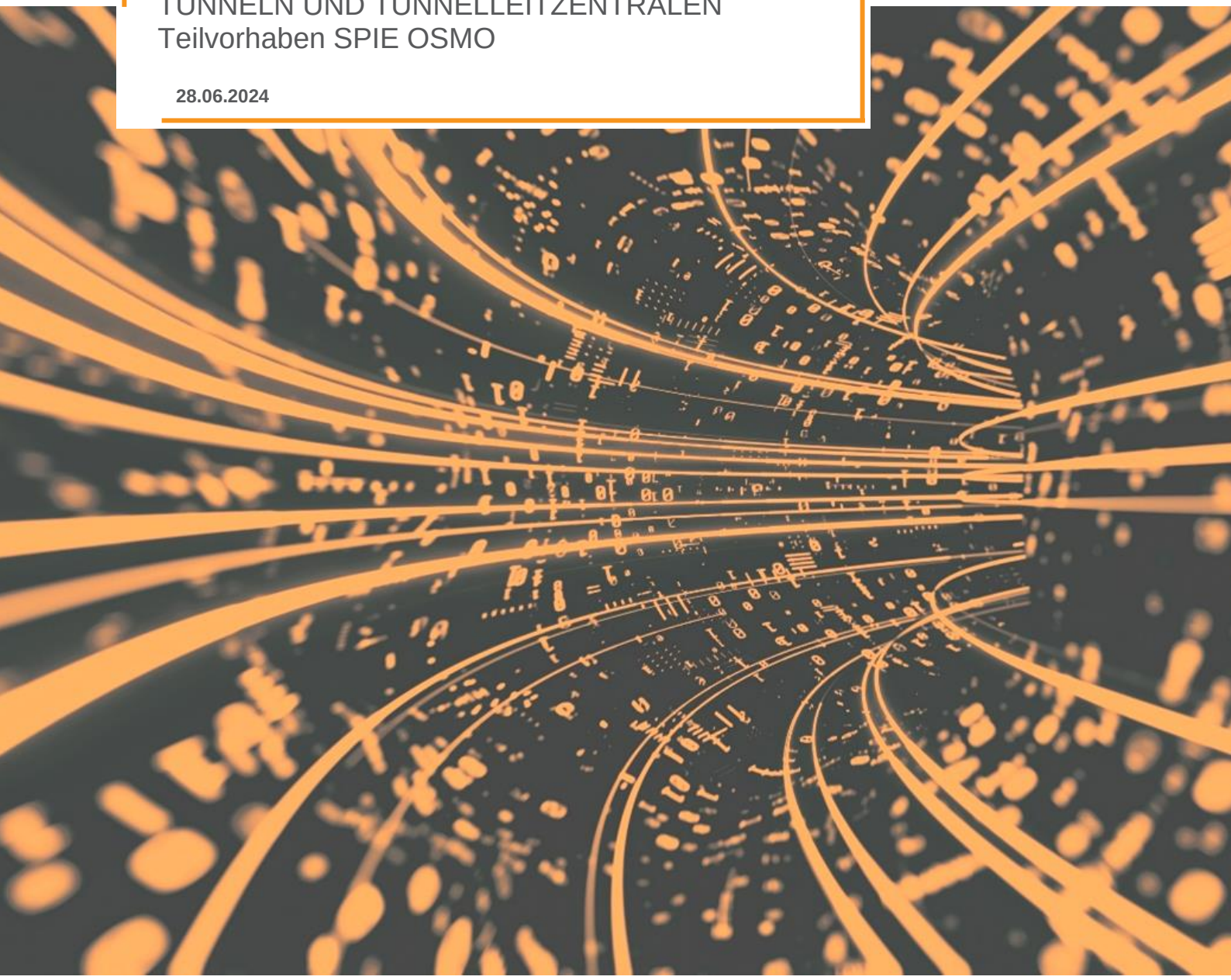
KURZBERICHT

KITT

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ ZUR VERBESSERUNG DER SICHERHEIT VON TUNNELN UND TUNNELLEITZENTRALEN

Teilvorhaben SPIE OSMO

28.06.2024



KONTAKT

- BASt
  Konsortialführer Deutschland und Gesamtkonsortium
  kitt@bast.de
  +49 / 2204 / 43 - 6307
- ILF
  Konsortialführer Österreich
  kitt@ilf.com
  +43 / 512 / 2412 - 4213

Seite 1/9

Das diesem Bericht zugrundeliegende bilaterale Vorhaben wurde mit folgenden Mitteln gefördert:

- Deutschland
  Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Bekanntmachung „Künstliche Intelligenz in der zivilen Sicherheitsforschung“ unter dem Förderkennzeichen 13N15537

  www.sifo.de

- Österreich
  Bundesministerium für Finanzen im Rahmen des Sicherheitsforschungsprogramms KIRAS unter der FFG-Projektnummer 879698

  www.kiras.at

INHALTSVERZEICHNIS

1 KURZDARSTELLUNG 4
1.1 Aufgabenstellung 4
1.2 Stand von Wissenschaft und Technik, Anknüpfung 5
1.3 Ablauf des Vorhabens 6
1.4 Wesentliche Ergebnisse 7
1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen 7

LITERATURVERZEICHNIS 9

1 KURZDARSTELLUNG

1.1 Aufgabenstellung

Die Digitalisierung und Vernetzung aller Verkehrsteilnehmer ermöglichen die Nutzung des Verkehrskollektivs als digitale Mobilitäts-, Informations- und Kommunikationsplattform, bekannt als C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems). Diese bietet dem Infrastrukturbetreiber zusätzliche Informationen zur Bewertung der Sicherheitssituation im Tunnel. Es gibt drei Arten von Technologien: Car-to-Car (C2C), Car-to-Infrastructure (C2I) und Infrastructure-to-Car (I2C), wobei in KITT hauptsächlich C2I betrachtet wird. Die Kommunikation erfolgt über Road Side Units (RSU), wodurch ein frühzeitiges Eingreifen in den Verkehrsfluss möglich ist, um Störungen zu vermeiden oder zu verringern. Die Datenstrukturen Cooperative Awareness Messages (CAM) und Decentralised Environmental Notification Messages (DENM) sind besonders relevant für die Tunnelsicherheit und liefern die C2I-Daten. Effiziente Methoden zur Extraktion wichtiger Informationen aus der Informationsflut sind erforderlich, ebenso wie Verfahren zur Integration von C-ITS- und konventionellen Tunnelbetriebsdaten. Künstliche Intelligenz kann dabei helfen, sicherheitsrelevante Informationen schnell zu generieren und bei Bedarf an relevante Parteien weiterzuleiten. Die nachfolgende Abbildung 1 stellt das Funktionsprinzip von KITT dar.

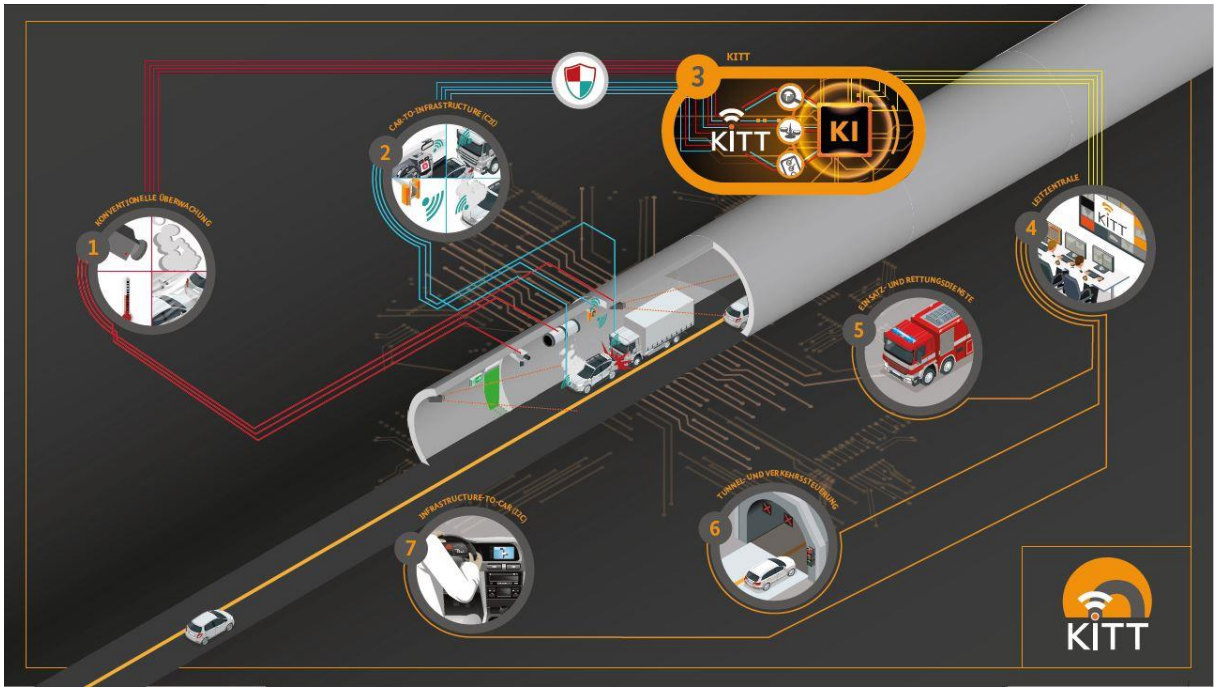


Abbildung 1: Funktionsprinzipskizze des KITT-Ansatzes

Dazu werden alle dafür relevanten Daten von Sensoren innerhalb eines Tunnels (1) und insbesondere die Daten aus dem Bereich der vernetzten Mobilität (C2X-Kommunikation (2)) mittels Künstlicher Intelligenz (KI) analysiert und hinsichtlich möglicher Risiken ausgewertet (3). Die analysierten Daten werden an die Tunnelleitzentrale gesendet (4), von der aus zielgerichtet Gegenmaßnahmen eingeleitet werden können. Dies kann z. B. eine Aktivierung der

entsprechenden Sicherheitsprogramme bedeuten (6), aber insbesondere die Alarmierung der Einsatz und Rettungsdienste wie auch die Warnung der Verkehrsteilnehmer. Schon wenige zusätzliche Informationen können einen großen Effekt für die Sicherheitsbewertung und frühzeitige Einleitung von Maßnahmen zeigen, da sich z. B. Einsatz- und Rettungsdienste besser auf den Einsatz vorbereiten können (5). In einem zukünftigen Ausbauschritt werden Informationen direkt an die Fahrzeuge zurückgesendet, so dass man den Insassen wichtige Informationen übermittelt und diese ihr Verhalten situationsgerecht besser anpassen können (7).

1.2 Stand von Wissenschaft und Technik, Anknüpfung

Die "Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten (RE-ING)" Ausgabe 2023 [1] in Verbindung mit den "Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h (EABT-80/100)" [2] enthalten Grundsätze, Hinweise und Kriterien für die Planung und die Ausstattung von Straßentunneln sowie für deren Betrieb. Für den sicheren Betrieb wird u.a. die Vermeidung kritischer Ereignisse, der Schutz der Tunnelnutzer sowie die Unterstützung der Einsatzdienste bei der Hilfeleistung bei Ereignissen wie z.B. Bränden gefordert. Die Projektergebnisse von KITT schließen an diese Aspekte an, in dem im Projekt eine Systematik entwickelt und erprobt wurden, um die o.g. Themengebiete hinsichtlich aktueller und zukünftiger Entwicklungen wie das autonome Fahren und die Digitalisierung des Verkehrssystem zu unterstützen und dabei neue Methoden wie die der schwachen künstlichen Intelligenz im Sinne der Erhöhung der zivilen Sicherheit anzuwenden.

Darüber hinaus knüpft KITT an das Projekt ESIMAS (Echtzeit-Sicherheits-Management-System) [3] an, in dem die Entwicklung eines Management-System unter Einbindung innovativer Detektionstechnologien sowie eine Echtzeit-Risikoanalyse sowie deren Darstellung erfolgte. An die Systematik in ESIMAS konnte angeknüpft werden, wobei als neues Detektionssystem die aus der C-ITS gewonnenen Daten fungieren. Aufgrund der zu erwartenden großen Datenmenge (sekündliche Statusmeldung der Fahrzeuge) wurden Methoden der KI eingebunden, um eine Fusion der Fahrzeugdaten, Abgleich mit Daten der Tunnelsensorik, Anomalieerkennung hinsichtlich Cybergefahren und schließlich eine Mustererkennung für Risiko- und Ereignissituationen sowie Ableitung von Sicherheitsrisiken durchzuführen.

Während in ESIMAS die Darstellung und Einbindung von Informationen, die über konventionelle Informationsebene hinausgehen im Fokus stand wurde in KITT auf die Entwicklung der Nutzung der neuen Daten aus C-ITS hingewirkt. Bis dato existierten keine Ansätze, die die Einbindung von C-ITS ins Verkehrs- bzw. explizit Tunnelsicherheitsmanagement betrachten. Auch die Anwendung von Methoden der KI finden dort bis dato keine Anwendung.

1.3 Ablauf des Vorhabens

Um Grundlagen für diesen Ansatz zu schaffen, sind wesentliche Entwicklungsschritte die Identifikation der relevanten Informationen aus den C2X-Daten, der Aufbau und das Training der KI-Verfahren sowie die Entwicklung von Strukturen zur Einbindung in die Gesamtsystemarchitektur der Tunnelsteuerung. Die einzelnen Arbeitsschritte zur Zielerreichung sind der Abbildung 2 zu entnehmen.

Auf Basis einer umfassenden Grundlagen- und Anforderungsanalyse zu allen im KITT-Projekt zu berücksichtigenden interdisziplinären Themenfeldern (Tunnelsicherheit, C-ITS, IT-Sicherheit, Künstliche Intelligenz) wurde ein Nutzungskonzept abgeleitet. Auf dieser Grundlage erfolgten die Entwicklung des KITT-Konzeptes hinsichtlich der anzuwendenden KI-Verfahren und des Systemaufbaus zur Informationseinbindung und Darstellung der C-ITS-Nachrichten sowie die visuelle Darstellung der daraus zusätzlich gewonnenen Informationen für die Tunnelüberwachung. Der funktionelle Nachweis erfolgte im Rahmen einer Demonstration an einem realen Tunnelbauwerk. Parallel zu allen Entwicklungsschritten erfolgte eine Evaluierung aus rechtlichen und ethischen Aspekten und abschließend konnten Empfehlungen hinsichtlich der zukünftigen Nutzung sowie weitere erforderliche Forschungs- und Entwicklungsansätze abgeleitet werden.

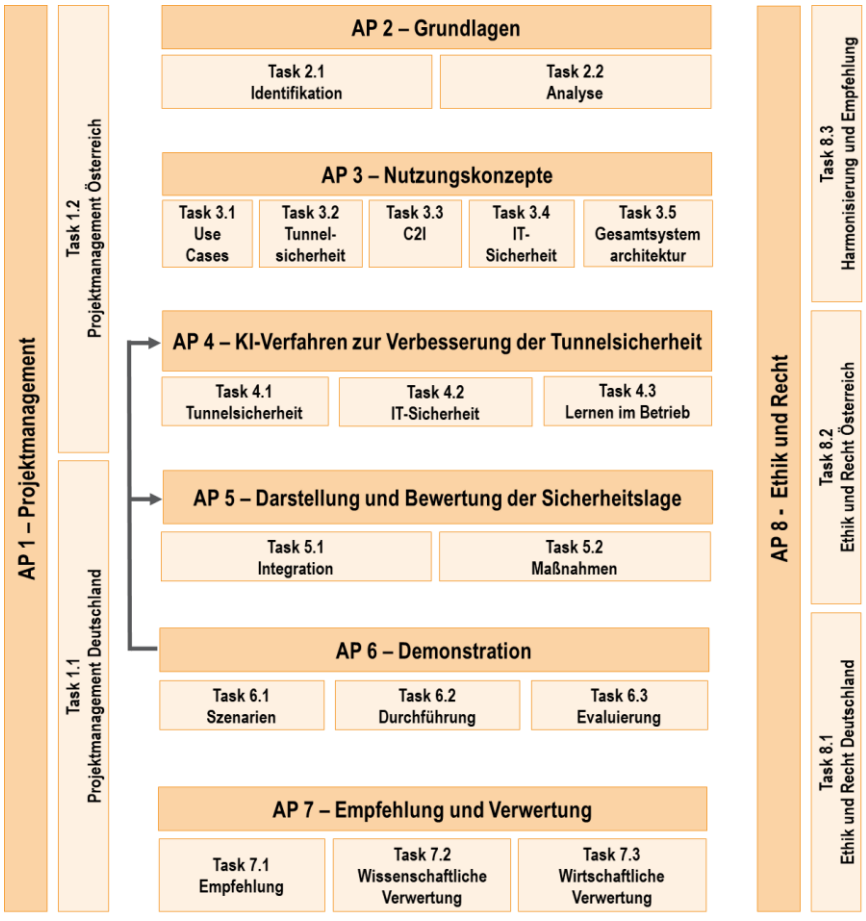


Abbildung 2: Arbeitspaketstruktur des KITT-Projektes

1.4 Wesentliche Ergebnisse

Es konnte mit dem im KITT-Projekt verfolgten Ansatz erfolgreich nachgewiesen werden, dass ein großer Mehrwert in der Einbindung der neuen bzw. zusätzlichen Informationen aus der C-ITS besteht und Verfahren der KI sich mit dem Ziel die Sicherheit und die Ereignisprävention von Tunneln zu verbessern deutlich eignen. Die Ergebnisse sollen genutzt werden, um die Tunnelinfrastruktur frühzeitig auf die effektive Einbindung der neuen Mobilitätsdaten vorzubereiten, den Prozess der Digitalisierung zielgerichtet zu begleiten und die Randbedingungen für den Einsatz im Gesamtkontext eines intelligenten Verkehrsleitsystems insbesondere aus dem Blickwinkel der Tunnelsicherheit zu formulieren.

1.5 Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Zur Berücksichtigung praxisbasierter Bedürfnisse und Erwartungen aber auch, um den Entwicklungs- und Wissensstand der mit Tunnelbetrieb- und Tunnelsicherheit zuständigen Akteuren zu erfassen, wurden im Zuge einer Nutzerbedarfsanalyse durch die BASt und ILF Experteninterviews mit insgesamt 7 Institutionen bzw. 10 Experten durchgeführt.

Im Rahmen der Planung der Demonstration wurde Kontakt zur Volkswagen AG aufgenommen. So konnten wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich der Entwicklungen und Funktionen der C2X gewonnen werden und es wurde eine Testfahrzeug für die Demonstration bereitgestellt.

Aufgrund der Einschränkung im Tunnel durch eine fehlende, durchgängige Signalabdeckung von Global Navigation Satellite Systems (GNSS) wurde ein System zur Funksimulation des Anbieters für Automotive-Software Vector Informatik GmbH zur Abbildung der C2I Kommunikation an die im Tunnel verbauten RSUs anstatt realer Fahrzeuge verwendet. Für den vorliegenden Anwendungsfall wurde gemeinsam getestet, wie das KITT-System mit dem Vectorsystem CANoe agiert, Szenarien erstellt und diese im Rahmen der Demonstration getestet.

Bereits in der Anfangsphase des Projektes wurden in Hinsicht auf die Datenverarbeitung und somit die spätere praktische Realisierung die für ein KI Training benötigten Daten aus den Leittechnikarchiven des SCADA des Tunnels Rosenstein in Stuttgart exportiert. In Zusammenarbeit der Fa. SPIE OSMO und Dürr (heute SPIE Dürr) wurden die Daten ausgespielt, analysiert und dem Team KI zur Verfügung gestellt. In den einzelnen AP wurden anschließend die Datenpunkte und Schnittstellen sowie die Gesamtarchitektur des KITT System und der Technik des Tunnels ermittelt und definiert.

Der Betreiber des Tunnels, die Stadt Stuttgart hatte im Projektverlauf die für das Projekt notwendigen Road Side Units (RSU) im Rosensteintunnel (RST) durch die Fa. SWARCO montieren und in Betrieb nehmen lassen.

Für die Entwicklung der Schnittstellen zu den RSU wurde in Zusammenarbeit der Fa. SPIE OSMO und SWARCO ein Testsystem mit einer Test-RSU und einem Volkswagen ID 3

aufgebaut. Die RSU wurde entsprechend mit der passenden Firmware ausgestattet und für das KITT Projekt konfiguriert. Somit konnten die Schnittstellen im Vorfeld bei der Fa. SPIE-OSMO entwickelt und getestet werden ohne die Tunnelsysteme zu beanspruchen.

Vor dem Aufbau des Demonstrators im Betriebsgebäude des RST wurden im Hause SPIE OSMO ein Workshop (Werkstest) organisiert, bei dem alle Projektparteien ihre KITT Module zusammengeführt haben.

LITERATURVERZEICHNIS

[1] RE-ING - Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten, Hrsg.: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Stand 2023/03, Teil 3 Tunnel

[2] EABT 80/100 - Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h, Hrsg. FGSV, Technische Regelwerke Nr. 339/1, 2019, ISBN: 978-3-86446-235-1.

[3] A. Lehan, W. Balz, and P. Ermer, “Ein Echtzeit-Sicherheits-Management-System für Straßentunnel (ESIMAS)–Von der Forschung bis zur Anwendung,” Taschenbuch für den Tunnelbau 2017: Kompendium der Tunnelbautechnologie Planungshilfe für den Tunnelbau, vol. 41, pp. 109–138, 2016.

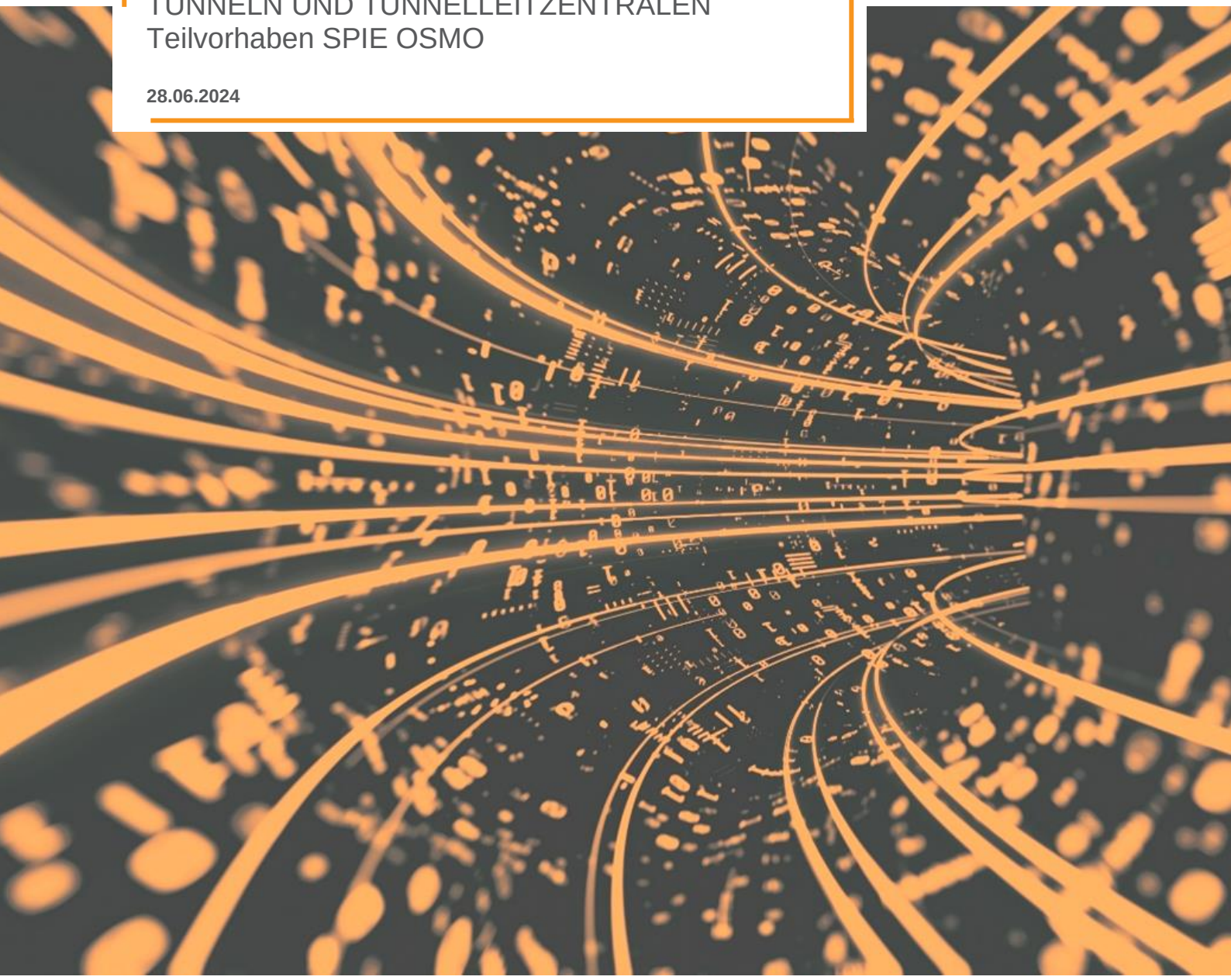
EINGEHENDE DARSTELLUNG

KITT

KÜNSTLICHE INTELLIGENZ ZUR VERBESSERUNG DER SICHERHEIT VON TUNNELN UND TUNNELLEITZENTRALEN

Teilvorhaben SPIE OSMO

28.06.2024



KONTAKT

- BASt
  Konsortialführer Deutschland und Gesamtkonsortium
  kitt@bast.de
  +49 / 2204 / 43 - 6307
- ILF
  Konsortialführer Österreich
  kitt@ilf.com
  +43 / 512 / 2412 - 4213

Das diesem Bericht zugrundeliegende bilaterale Vorhaben wurde mit folgenden Mitteln gefördert:

- Deutschland
  Bundesministerium für Bildung und Forschung im Rahmen der Bekanntmachung „Künstliche Intelligenz in der zivilen Sicherheitsforschung“ unter dem Förderkennzeichen 13N15537

  www.sifo.de

- Österreich
  Bundesministerium für Finanzen im Rahmen des Sicherheitsforschungsprogramms KIRAS unter der FFG-Projektnummer 879698

  www.kiras.at

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 4

TABELLENVERZEICHNIS 5

1 EINGEHENDE DARSTELLUNG 6

1.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse 7

1.1.1 AP 1 – Projektmanagement 7

1.1.2 AP 2 – Grundlagen 7

1.1.3 AP 3 – Nutzungskonzepte 15

1.1.4 AP 4 KI 21

1.1.5 AP 5 – Darstellung und Bewertung der Sicherheitslage 21

1.1.6 AP 6 – Demonstration 26

1.1.7 AP 7 – Verwertung 30

1.1.8 AP 8 31

1.1.9 Vergleich der Ergebnisse mit den vorgegebenen Zielen 31

1.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 31

1.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten 31

1.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses 32

1.5 Bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen 33

Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses 33

1.6 33

LITERATURVERZEICHNIS 36

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur des KITT-Projektes 6
Abbildung 2: Prinzip von KITT aus Sicht der Tunnelsicherheit 12
Abbildung 3: Übersicht KITT und die Tunneltechnik 22
Abbildung 4: Aufbau KITT-Systemmodule 23
Abbildung 5: CAMs kumuliert am 17.01.2024 im RST 28
Abbildung 6: RSU Reichweite im RST 28

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: AP2 – Übersicht der Factsheets.....9
Tabelle 2: Übersicht der Use Cases aus Sicht der Tunnelsicherheit.....17
Tabelle 3: Risikosituationen im Use Case 1 "Einleitung präventiver Maßnahmen" 18
Tabelle 4: Ereignisse im Use Case 2 "Optimierung der Selbstrettung“ 18
Tabelle 5: Ereignisse im Use Case 3 "Optimierung der Fremdrettung".....19
Tabelle 6: AP3 – IT Sicherheit – Angriffsszenarien - Threat-Event-Katalog 20
Tabelle 7: Wirkmatrix nach EABT [1] / RE-ING [2].....25

1 EINGEHENDE DARSTELLUNG

In Abbildung 1 ist der gesamte Arbeitsplan des Forschungsvorhabens grafisch dargestellt. Das Gesamtvorhaben unterteilt sich dabei in 8 Arbeitspakete (AP), wobei das AP1-Projektmanagement sowie das AP8-Ethik und Recht über die gesamte Projektlaufzeit hinweg begleitende Arbeitspakete darstellen. Des Weiteren verfügt jedes Arbeitspaket über einzelne Tasks zu bestimmten Themen und Zielen.

In den folgenden Kapiteln werden alle von SPIE-OSMO begleiteten und bearbeiteten Tasks vorgestellt und die übernommenen Aufgaben beschrieben.

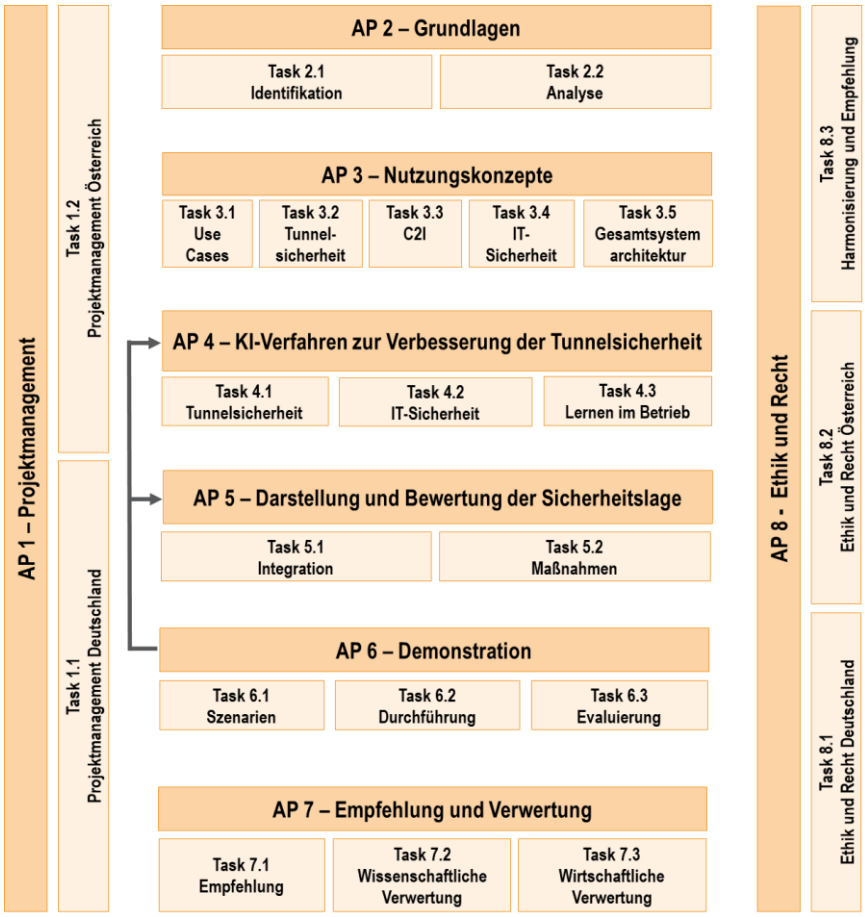


Abbildung 1: Arbeitspaketstruktur des KITT-Projektes

1.1 Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

1.1.1 AP 1 – Projektmanagement

SPIE OSMO war am AP 1 nicht beteiligt.

1.1.2 AP 2 – Grundlagen

Die Aufgabenstellung im AP2 – „Grundlagen“ ist einerseits, den Stand der Wissenschaft und Technik in Hinblick auf die Aufgabenstellung abzubilden, andererseits den Nutzen aus den identifizierten Grundlagen abzuleiten und für die weitere Verwendung im Projekt aufzubereiten. Das Arbeitspaket AP2 verfügt über zwei Tasks: Task 2.1 – „Identifikation“ und Task 2.2 – „Analyse“ und fasst nach Abschluss der Bearbeitung zwei Deliverables zusammen:

- D2.1: Bericht zum Stand Forschung und Technik
- D2.2: Anforderungsprofil als Grundlage für Nutzungskonzept

Ziel des Tasks 2.1 – „Identifikation“:

Das Ziel des Tasks sind die Erfassung, Auswertung und Aufbereitung zur Weiterverwendung der bestehenden Regelwerke, Standards, Fachliteratur, Publikationen, Projekte, nationaler/ europäischer Forschungsprojekte etc. für die Forschungsaufgabe relevante Standards, Leitlinien, Konzepte, Methoden, Best Practices, Zukunftstrends etc.. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf Daten (Inhalten & Strukturen, z.B. aus der C2I Kommunikation), die derzeit bzw. zukünftig für das Tunnelsicherheitsmanagement zur Verfügung stehen (könnten).

Im ersten Schritt wurde das Forschungsvorhaben in 4 Kernbereiche unterteilt und für jeden Kernbereich eine Unterarbeitsgruppe (UAG) gebildet:

- Kernbereich Tunnelsicherheit (SPIE OSMO)
- Kernbereich Car-to-Infrastructure Kommunikation
- Kernbereich IT-Sicherheit (SPIE OSMO)
- Kernbereich Künstliche Intelligenz (SPIE-OSMO)

Geführt von einem Unterarbeitsgruppenleiter wurden in diesen Gruppen intensive Literaturstudien und Grundlagenrecherchen durchgeführt. Zur Strukturierung und besseren Darstellung der identifizierten Grundlagen wurden diese in einem zweiten Schritt in der Form von standardisierten Factsheets kompakt zusammengefasst.

In der Tabelle 1 sind alle Factsheets aufgelistet, die im Zuge von AP2 erstellt wurden.

Ziel des Tasks 2.2 – „Analyse“:

Ziel des Tasks ist die identifizierten Grundlagen bzgl. Tunnelsicherheit, Car-to-Infrastructure Kommunikation, IT-Sicherheit zu strukturieren und in Hinblick auf die Weiterbearbeitung in AP3 aufzubereiten. Dabei sollen insbesondere Potentialen und Risiken (u.a. bzgl. IT-Sicherheit) infolge neuer Daten für die Tunnelsicherheit (aus C2I Kommunikation), sowie zusätzlicher Chancen durch erweiterte Datenanforderungen identifiziert werden. Außerdem sollen praxisbasierte Bedürfnisse und Erwartungen durch die Einbindung der Bedarfsträger und potentieller Nutzer festgestellt und einbezogen werden.

Auf Basis der identifizierten Grundlagen in den UAG (Task 2.1) wurden für die Kernbereiche Tunnelsicherheit, Car-to-Infrastructure Kommunikation und IT-Sicherheit jeweils Anforderungsprofile aus der Sicht verschiedener Stakeholder definiert.

SPIE OSMO hat sich maßgeblich in den Unterarbeitsgruppen Tunnelsicherheit, IT-Sicherheit und Künstliche Intelligenz aktiv beteiligt. In der UAG Tunnelsicherheit wurden zunächst projektrelevante Handlungsfelder (Detektion, Bewertung und Information) festgelegt und die vorhandenen Grundlagen ermittelt und zusammengefasst. Für den Bereich der Detektion wurde von SPIE OSMO anhand der bereits abgewickelten Projekte ermittelt, welche konventionellen Detektionsverfahren und Technologien zum Einsatz kommen. In Zusammenarbeit mit den Partnern wurden diese bewertet und auf die Möglichkeit der Plausibilisierung mit anderen Daten, insbesondere C2X untersucht. Die Erstellung der Factsheets erfolgte auf Grundlage aktueller Fachliteratur sowie vorhandener Praxiserfahrungen der Projektpartner. Dabei wurden Redundanz- und Substitutionspotentiale bestehender Systeme hinsichtlich der Nutzung von Cooperative Intelligent Transport Systemen (C-ITS) zur Verbesserung der Tunnelsicherheit aufgezeigt.

In der UAG IT-Sicherheit wurde ebenfalls in einer Grundlagenrecherche IT und OT-Sicherheitsstandards herausgearbeitet und zusammen mit den Projektpartnern in den Factsheets (Tabelle 1) zusammengefasst. Die C2X Technologie wurde im Hinblick auf die Anforderungen an Datensicherheit gemäß der Datenschutznormen untersucht. Des Weiteren wurden die Möglichkeiten der Erkennung von Angriffen insbesondere über Anomalie Erkennung und Intrusion Detection System (IDS) mittels KI untersucht.

Darauf aufbauend wurde für jeden Themenbereich eine Anforderungsmatrix mit funktionalen Anforderungen an Systeme, Informationen und Daten erstellt. Die Anforderungsprofile wurden zusammen mit den gewonnenen Erkenntnissen aus der Nutzerbedarfsanalyse (Experteninterviews) als Bericht zu Deliverable D 2.2 zusammengeführt und bildeten eine Grundlage für die in AP 3 zu erstellenden Nutzungskonzepte. Das AP 2 wurde mit März 2022 abgeschlossen.

Tabelle 1: AP2 – Übersicht der Factsheets

Kernbereich	Themenfeld	Nummer	Titel
Tunnelsicherheit	Detektion	1.1.1	Verkehrsdatenerfassung
		1.1.2	Videoüberwachung
		1.1.3	Höhenkontrolle
		1.1.4	Branderkennung und Überwachung der Luftverhältnisse
		1.1.5	Videodetektion
		1.1.6	Gefahrguterkennung
		1.1.7	Thermoscanner
		1.1.8	akustische Detektion
	Bewertung	1.2.1	Personensicherheit konventionell
		1.2.2	Gefahrgut
		1.2.3	Verfügbarkeit / Resilienz
		1.2.4	Echtzeit-Risikobewertung
	Information	1.3.1	an Operator
		1.3.2	an Fahrzeuge im Tunnel
		1.3.3	an Flüchtende im Tunnel
		1.3.4	an Feuerwehr
		1.3.5	an Fahrzeuge vor dem Tunnel
C2I	Fahrzeugseitige Subsysteme	2.1.1	Kommunikationseinheit
		2.1.2	Human Machine Interface
	Infrastrukturseitige Subsysteme	2.2.1	Road Side Units
		2.2.2	Überwachungszentralen
	Funkschnittstellen	2.3.1	Mobilfunk
		2.3.2	WLAN
	Kommunikationsprotokolle	2.4.1	1 Access – Physical Layer PHY
			2 Acces – Medium Access Control MAC
			3 Acces – Logical Link Control LLC
		2.4.2	1 Networking & Transport – GeoNetworking GN
			2 Networking & Transport – Basic Transport Protocol BTP
		2.4.3	1 Facilities – CAM
			2 Facilities – DENM
IT-Sicherheit	C2I Security	3.1.1	Securing V2X Communication Platforms
		3.1.2	Adaptable Safety and Security in V2X Systems
		3.1.3	ETSI TS 102 940
		3.1.4	ETSI TR 102 893 und ETSI TS 102 165-1
		3.1.5	Schutz von Tunnelleitzentralen vor Cyber-Angriffen
	Public Key Infrastructure (PKI)	3.2.1	Verwendung von PKI für die C2X-Kommunikation

Kernbereich	Themenfeld	Nummer	Titel
	IT Security Standards	3.3.1	ISO 2700x
		3.3.2	IEC 62443
		3.3.3	NIS
	OT Security Standards	3.4.1	Integrität von Steuerungen
		3.4.2	Zusätzliche IT-Anforderungen an Tunnelanlagen
		3.4.3	Analyse der FMEA aus dem Projekt CyberSafe
	Open Architecture	3.5.1	NAMUR Open Architecture - NOA
	Externe Schnittstellen	3.6.1	Externe Schnittstellen
		3.6.2	BSI-Standard 200-2
	Internet of Things (IoT)	3.7.1	Sichere IoT-Umgebungen
KI	Tunneloperation	4.1.1	Einsatz von KI/ Expertensysteme zur Entscheidungsunterstützung/ Betriebsunterstützung
	Tunnelwartung	4.2.1	Einsatz von künstlicher Intelligenz bei der Tunnelwartung
	Prädiktive Tunnelwartung	4.3.1	Einsatz von künstlicher Intelligenz für die prädiktive Tunnelwartung
	Tunnelcybersicherheit	4.4.1	Einsatz von künstlicher Intelligenz für die Cybersicherheit in Tunneln
		4.4.2	Anomaly Detection in Automotive Communication
		4.4.3	Anomaly Detection In Network Security
		4.4.4	Intrusion Detection in Vehicular Network
		4.4.5	ML for DDoS Attack
		4.4.6	Neural Network Classifier for IDS
		4.4.7	Survey in Network Intrusion Detection

1.1.2.1 AP 2 - Kernbereich Tunnelsicherheit

Im Projekt KITT wird unter dem Begriff der Tunnelsicherheit ein integraler Ansatz verstanden, der neben der Sicherheit der Verkehrsteilnehmer, insbesondere ihr Verhalten im Ereignisfall, auch Aspekte des Bauwerks mit seinen betriebs- und sicherheitstechnischen Systemen, des Betriebs und der Instandhaltung, der Fahrzeuge, Notfalldienste und gesamten Sicherheitsorganisation berücksichtigt. Die Verfügbarkeit der Tunnelanlagen spielt neben der Gewährleistung eines Mindestsicherheitsniveaus eine immer wichtigere Rolle.

SPIE OSMO konnte sich aus den in der Vergangenheit realisierten Tunnel- sowie Forschungsprojekten wie z.B. ESIMAS mit Informationen und Know-How in den Kernbereich einbringen.

Der Kernbereich Tunnelsicherheit wurde folgende drei Themenfelder gegliedert, die die Bereitstellung, Weiterverarbeitung und Nutzung der Daten beschreiben:

I. Detektion

Im KITT-Kernbereich Tunnelsicherheit versteht man unter „Detektion“ Systeme bzw. Technologien, die zur Beschaffung und Bereitstellung von Tunnelsicherheits-relevanten Daten dienen. Diese Daten können sowohl aus konventionellen Sensorsystemen der Tunnelüberwachung, als auch aus der C2I-Kommunikation oder anderen innovativen Systemen stammen. Die angeführten Detektionssysteme können neben der Tunnelsicherheit auch bspw. für betriebliche Belange oder zur Verkehrssteuerung genutzt werden.

II. Bewertung

Auf Basis der bereitgestellten Daten und Informationen aus konventionellen und innovativen Detektionssystemen erfolgt eine Risikobewertung. Für Straßentunneln werden üblicherweise 2 Arten von Risikoanalysen durchgeführt: Einerseits zur Bewertung von Personenrisiken hinsichtlich Kollisionen und Brände im Tunnel; andererseits zur Bewertung und Freigabe von Gefahrguttransporten im Tunnel. Von zunehmender Bedeutung ist die Bewertung der Resilienz bzw. Verfügbarkeit von Straßentunneln.

In Abhängigkeit des Informationsgehalts aus C2I, welche in Echtzeit zur Verfügung stehen, kann die Bewertung und die daraus abgeleiteten Maßnahmen ebenso in Echtzeit erfolgen. Zu diesem Zweck werden die übermittelten Daten mithilfe der KI plausibilisiert und fusioniert. Vor allem im Hinblick auf die bestehenden sowie zusätzlichen Schnittstellen der Informationsübertragung ist besonderes Augenmerk auf die IT-Sicherheit zu legen.

III. Information

Die Informationen aus den detektierten und bewerteten Daten werden abhängig vom jeweiligen Nutzer in aufbereiteter Form übertragen und zur weiteren Verwendung visualisiert. Grundsätzlich erfolgt dies über die Tunnelleitzentrale und den Operator, könnte jedoch (im Ereignisfall) auch direkt an die jeweiligen Stakeholder direkt (zur Beschleunigung des Informationsflusses) weitergeleitet werden.

Ähnlich zu den Detektionssystemen bestehen hier konventionelle als auch (durch den Einsatz von C2X) innovative Systeme zur Informationsweitergabe.

In Abbildung 2 ist das Prinzip von KITT aus Sicht der Tunnelsicherheit inklusive der drei Themenfelder Detektion, Bewertung und Information schematisch dargestellt.

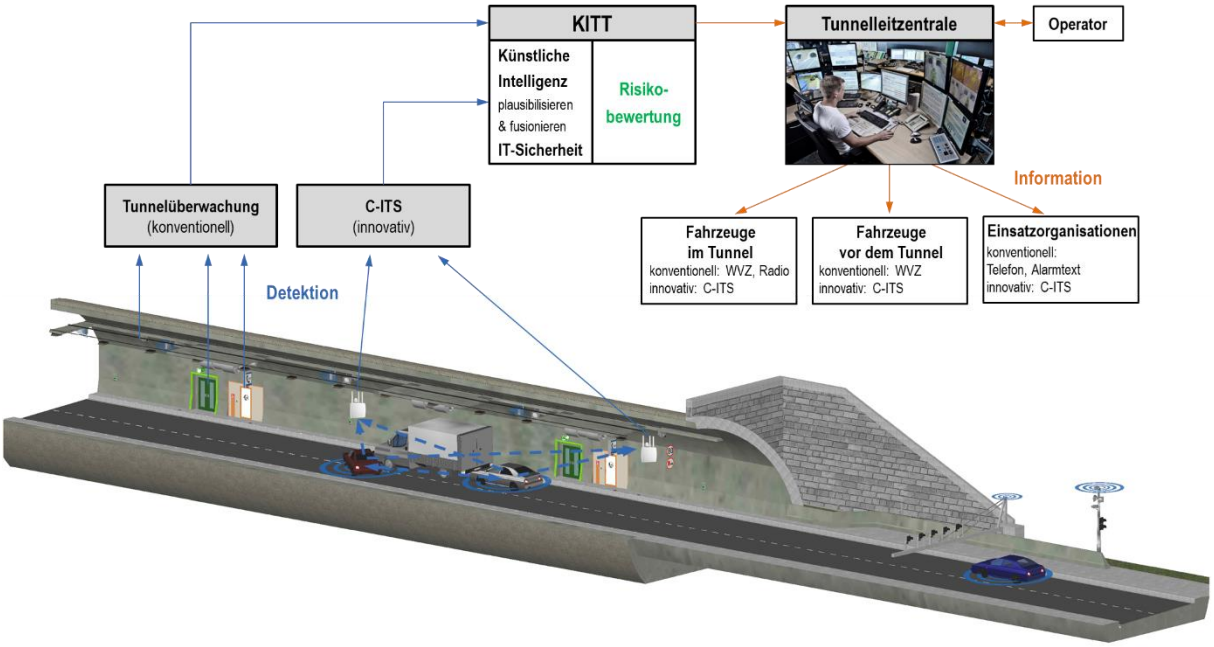


Abbildung 2: Prinzip von KITT aus Sicht der Tunnelsicherheit

1.1.2.2 AP 2 - Kernbereich IT-Sicherheit

Da die Sicherheit in der Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) ein Querschnittsthema ist, musste zunächst das Themengebiet eingegrenzt bzw. fokussiert werden. Festzuhalten ist, dass es sich hier technisch um IT-Sicherheit und nicht Informationssicherheit (dem breiteren Begriff, ohne explizitem Kontext zur Technik) handelt. Im ersten Schritt wurden die Detailthemen in Bezug auf die Tunnelsicherheit, Verkehrsanforderungen und Kommunikation gewählt und damit hinsichtlich ihrer Relevanz für die später auszuarbeitenden Factsheets in den Scope genommen. Es kristallisierten sich sieben Detailbereiche heraus:

1. Car-to-Infrastructure (C2I) Security

Die Sicherheit in der spezifischen Anwendung der C2I erforderte die Betrachtung der Kommunikationsplattformen für Vehicle-to-everything-Systeme sowie adaptierbare Safety und Security Anforderungen. Außerdem wurden drei Kern-ETSI-Standards erfasst. Aus dem Projekt CyberSafe wurden die Ergebnisse aus C2I-Security-Perspektive erfasst.

2. Public Key Infrastructure (PKI)

Ein wesentlicher Baustein in der C2X-Kommunikation ist eine zuverlässige PKI. Daher muss dieser explizit betrachtet werden, da dies ein kritischer Erfolgsfaktor für die Integrität eines Tunnelsicherheitssystems gelten muss.

3. IT Security Standards

Die Erfahrungen aus der allgemeinen IT- oder IKT-Sicherheit manifestieren sich im ISO 2700x-Standard sowie der IEC 62443. Seitens der gesetzgebenden Behörden zum Schutz kritischer Infrastruktur, zu dem ein Verkehrssystem zählt, wurde die Netz- und Informationssicherheits-Richtlinie erarbeitet. Des Weiteren sind die Anforderungen an die IT-Security für Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) in den Technischen Spezifikationen (TS) und Technischen Reports (TR) der ETSI festgelegt. Die ETSI ITS-Sicherheitsnormen decken die aktuellen ITS-Sicherheitsbedürfnisse und Ziele, basierend auf dem Stand der Bedrohungs- und Risikoanalyse TR 102 893 ab. Ein entscheidendes Merkmal dieses Sicherheitsrahmens ist der Schutz der Privatsphäre der Nutzer und Fahrzeuge von kooperativen ITS-Systemen, z.B. durch die Verwendung von Pseudonym-Zertifikaten für die drahtlose Kommunikation und deren regelmäßige Änderung.

4. OT Security Standards

In der Domäne von bautechnischen Anlagen fallen die Steuerungselemente unter die Operational Technology (OT). Auch hier bestehen grundsätzliche Erfahrungen und Strukturvorgaben für die Integrität von Steuerungen, spezifische Anforderungen an Tunnelanlagen sowie

Erkenntnisse aus dem Projekt CyberSafe in Form einer Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

5. Open Architecture

Für die IT-Sicherheit von Tunnelanlagen ist eine offene Architektur sinnvoll, damit diese sukzessive weiterentwickelt werden kann. NAMUR Open Architecture (NOA) hat das Ziel, Produktionsdaten einfach und sicher für Anlage- und Geräteüberwachung (Monitoring) und Optimierungen nutzbar zu machen. Traditionelle Automatisierungsstrukturen werden mit flexiblen Zugriff auf Nutzungsdaten kombiniert.

6. Externe Schnittstellen

Obwohl keine Literatur zu standardisierbaren Vorgaben gefunden wurden, besteht die Notwendigkeit, dass solche Schnittstellen vorzusehen und abzusichern sind. Für eine Risikoanalyse und Bewertung der funktionalen Forderungen orientiert man sich an das Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI).

7. Internet of Things (IoT)

Aufgrund der Tatsache, dass alle verfügbaren Daten in einem Tunnel verarbeitet werden sollen, um die Sicherheit im Tunnel zu erhöhen und die Tunnelleitzentralen aufgrund einer hochwertigeren Datenlage rascher und zielgerichteter reagieren können, werden auch Sensoren und Aktuatoren aus dem Bereich IoT sinnvoll eingesetzt werden. Hierbei sind zusätzliche Sicherheitsmechanismen anzuwenden, da die generierten Daten konsistent und integer sein müssen.

In diesem Kernbereich wurden die bei der Realisierung von Tunnel- sowie Forschungsprojekten gewonnen Erfahrungen der SPIE OSMO mit eingebracht und berücksichtigt.

1.1.2.3 AP 2 - Kernbereich Künstliche Intelligenz (KI)

In diesem Kernbereich der KI konnte SPIE OSMO mit Datenmodellen sowie Daten aus den Tunnelprojekten und der Erfahrung mit den Operatoren bei der Ausarbeitung folgender Themen mitwirken:

1. Einsatz von KI für die Cybersicherheit von Tunneln
2. Ansätze des maschinellen Lernens für Vehicle-to-Infrastructure (V2I)
3. Ansätze des maschinellen Lernens für die Netzwerksicherheit
4. Einsatz von KI und Expertensysteme zur Entscheidungsunterstützung und Betriebsunterstützung in der Tunneloperation

5. Einsatz von KI für die Tunnelwartung
6. Einsatz von KI für prädiktive Tunnelwartung

Die Detaillierte Beschreibung kann dem AP2 Bericht entnommen werden.

1.1.3 AP 3 – Nutzungskonzepte

Nach der Analyse der Grundlagen im AP2 durch einen Literaturrecherche-Ansatz, werden im AP3 die Anforderungen aus Sicht der KITT-Systemanwendern in strukturierter Form definiert. Daher wurden sogenannte Nutzungskonzepte auf Basis der im AP2 identifizierten Datenbasis sowie den Anforderungsprofilen entwickelt. Dazu wurden die bestehenden Blickwinkel Tunnelsicherheit, C2X-Kommunikation und IT-Sicherheit aus dem AP2 aufgenommen und konkrete Nutzungskonzepte für diese eingenommenen Perspektiven formuliert.

Die Nutzungskonzepte werden dabei unter Berücksichtigung der identifizierten Use Cases so ausformuliert, dass angestrebte Funktionalitäten umgesetzt werden können. Hierdurch ergibt sich wiederrum eine Wechselwirkung zu der Gesamtarchitektur, da diese zwecks Umsetzung entsprechend anzupassen ist. Somit wird sichergestellt, dass die Architektur des KITT-Systems – hier im weiteren Sinne mit seiner Einbettung in eine umfassende Gesamtsicht unter Berücksichtigung vorhandener Leit- und Automatisierungstechnik in Straßentunneln – die Anforderungen der Benutzer erfüllen kann.

Es wurden folgende Zielsetzungen gesetzt:

- Entwicklung von Konzepten zur Nutzung der identifizierten und analysierten Daten und des Nutzerbedarfs unter Berücksichtigung der formulierten Sicherheitsanforderungen für Tunnelsicherheit, C2X-Kommunikation und IT-Sicherheit
- Überführung in eine Gesamtsystemarchitektur unter Berücksichtigung der Aspekte Technik, Organisation und Personal

In diesem AP hat die SPIE-OSMO an der Entwicklung repräsentativer Use Cases mitgewirkt. Darüber hinaus hat SPIE OSMO die Zuordnung von C2X-Daten und konventionellen Tunneldaten zu den jeweiligen Use Cases bzw. Szenarien in einem Ereignis-Datenkatalog vorgenommen. Die SPIE OSMO beteiligte sich maßgeblich an der Erstellung eines Entwurfs der Gesamtsystemarchitektur unter Berücksichtigung bereits vorhandener Schnittstellen in der Tunnelleittechnik, der Einbindung neuer Schnittstellen (Road Side Units) für die C2X-Kommunikation sowie der Kopplung der beiden Systeme nach den Sicherheitsstandards des BSI.

Für die Nutzungskonzepte wurden in Projektworkshops unterschiedliche Anforderungen aus allen Stakeholder-Sichten gesammelt, also konkret aus den Perspektiven mit folgenden Aufgabenstellungen:

Bewertung der Sicherheitslage in Echtzeit

- Konzept zur Bewertung und Analyse von Risiken in Echtzeit
- Identifizierung und Beschreibung der Abläufe
- Erstellung eines Katalogs für relevante Daten
- Konzept zur Visualisierung

Bereitstellung und Verarbeitung von Echtzeitinformationen

- Konzept zur Integration von Informationen in die Tunnelleittechnik
- Analyse von Verkehrs- und Umweltdaten der Fahrzeugsensoren mit Potenzial für Tunnelsicherheit
- Zusammenfassung, Differenzierung, Bewertung und Einarbeitung in ein Gesamtnutzungskonzept für die KI

Sicherstellung der IT-Sicherheit (hinsichtlich C-ITS)

- Entwicklung eines Intrusion-Detection-Konzepts
- Entwicklung von Sicherheitsanforderungen an C2I-Schnittstelle
- Definition der Systemgrenzen
- Prüfung von Möglichkeiten der Anomalieerkennung

1.1.3.1 AP 3 - Task 3.1 - Use Cases

Die Bezeichnung der einzelnen Use Cases beschreibt die jeweilige Zielsetzung, die erreicht werden soll. Daraus leiten sich in weiterer Folge die davon unmittelbar betroffenen Stakeholder ab. Insgesamt wurden drei Use Cases aus Sicht der Tunnelsicherheit und einer aus Sicht der IT-Sicherheit definiert (siehe

Tabelle 2).

Bei der Auswahl der Use Cases der Tunnelsicherheit wurde besonderer Wert darauf gelegt, dass anhand der definierten Abläufe eine ganzheitliche und umfassende Betrachtung ermöglicht wird. Folgende Aspekte spielen dabei eine wesentliche Rolle:

Alle Stakeholder der Tunnelsicherheit (Tunneloperator, Einsatzorganisationen, Tunnelnutzer, definiert in D2.1) werden durch die Use Cases repräsentiert.

Neben dem Notfallbetrieb, mit dem Fokus auf die Selbst- und Fremdrettung der Tunnelnutzer, wird insbesondere der Regelbetrieb im Hinblick auf die Prävention von Ereignissen betrachtet.

Sämtliche Themenfelder der Tunnelsicherheit, von der Detektion über die Bewertung bis zur Information, definiert in D2.1, finden Berücksichtigung.

Auf Basis dieser Anforderungen werden folgende drei Use Cases aus Sicht der Tunnelsicherheit definiert:

Use Case 1 – Einleitung präventiver Maßnahmen

- Bereitstellung von Informationen für den Tunneloperator im Regelbetrieb, um Unfälle und Brände zu vermeiden.
- Bereitstellung von Informationen für den Tunneloperator im Ereignisfall, um Folgeereignisse zu verhindern.

Use Case 2 – Optimierung der Selbstrettung

- Bereitstellung von Informationen für den Tunneloperator bei einem Notfall, um schneller und zielgerichteter eine Tunnelevakuierung einleiten zu können.
- Bereitstellung von Informationen für den Tunneloperator bei einem Notfall, um sich schneller und zielgerichteter selbstretten zu können?

Use Case 3 – Optimierung der Fremdrettung

- Bereitstellung von Informationen für den Tunneloperator bei einem Notfall bereit, um schneller und zielgerichteter die Fremdrettung einleiten zu könne.
- Bereitstellung von Informationen für den Tunneloperator, um eine sichere und erfolgreiche Fremdrettung durchführen zu können?

Tabelle 2: Übersicht der Use Cases aus Sicht der Tunnelsicherheit

#	Use Case	Stakeholder	Betrieb	relevante Themenfelder	Informations-fluss C-ITS
1a	Einleitung präventiver Maßnahmen	Tunneloperator	Regelbetrieb	Detektion	C2I
				Bewertung	
1b			Notfall	Detektion	
				Bewertung	
2a	Optimierung der Selbstrettung	Tunneloperator	Notfall	Detektion	C2I
2b		Tunnelnutzer		Information	I2C
3a	Optimierung der Fremdrettung	Tunneloperator	Notfall	Detektion	C2I
3b		Einsatzdienste		Information	I2C

1.1.3.2 AP 3 - Task 3.2 - Tunnelsicherheit

In der UAG wurden einzelnen Ereignissen die konventionellen Datenpunkte der Tunnelleittechnik zugeordnet. Hierzu wurden zunächst die in Frage kommenden Ereignisse ermittelt und im Anschluss fand die entsprechende Zuordnung statt. Des Weiteren wurde ermittelt, welche innovativen Detektionssysteme vorhanden sind, um konventionelle Systeme zu plausibilisieren oder um Ereignisse zu detektieren, welche mit der konventionellen Technik nicht detektiert, werden können. Die Ereignisse wurden dabei im Zuge von Recherchen unter Berücksichtigung der drei maßgeblichen Themenfelder Detektion, Bewertung und Information erfasst.

In einer Matrix wurden die Ereignisse aufgestellt und mit den Möglichkeiten der konventionellen oder innovativen Detektionssystemen verknüpft. Die Matrix dient als Grundlage für den Aufbau des in AP 4 zu entwickelnden KI-Moduls. Task 3.1 – Use Cases

Die folgenden Tabellen fassen die Ergebnisse der Ausarbeitung der UAG zusammen:

Tabelle 3: Risikosituationen im Use Case 1 "Einleitung präventiver Maßnahmen"

#	Use Case	Stakeholder	Risikosituation	
1	Einleitung präventiver Maßnahmen	Tunneloperator	1	glatte Fahrbahn
			2	schlechte Sichtverhältnisse
			3	liegengebliebenes Fahrzeug (Panne)
			4	stehengebliebenes Fahrzeug (medizinischer Notfall, etc.)
			5	langsam fahrendes Fahrzeug
			6	kritische Unterschreitung des Sicherheitsabstandes
			7	auffälliges Bremsverhalten
			8	Stau aufgrund Verkehrsüberlastung
			9	Falschfahrer
			10	verunfalltes Fahrzeug im Tunnel

Tabelle 4: Ereignisse im Use Case 2 "Optimierung der Selbstrettung“

#	Use Case	Stakeholder	Ereignis
2a	Optimierung der Selbstrettung	Tunneloperator	Brand
2b		Tunnelnutzer	

Tabelle 5: Ereignisse im Use Case 3 "Optimierung der Fremdrettung"

#	Use Case	Stakeholder	Ereignis
3a	Optimierung der Fremdrettung	Tunneloperator	Unfall
3b		Einsatzorganisati-	Brand

1.1.3.3 AP 3 - Task 3.3 - C2I-Kommunikation

Die identifizierten C2X-Daten aus Task 2.1 wurden entsprechend der Anwendungsmöglichkeiten strukturiert und in die Ereignis-Detektionsmatrix der UAG Tunnelsicherheit eingearbeitet. Dabei wurden auch Standardisierungsbestrebungen und regulierende Vorgaben (u.a. ETSI-Standardisierung, Institute of Electrical and Elektronics Engineers (IEEE) etc.) berücksichtigt. Der Fokus lag hierbei insbesondere auf den standardisierten ETSI-Austauschprotokollen CAM (Cooperative Awareness Message) und DENM (Decentralized Environmental Notification Messages), die von den Fahrzeugherstellern zwecks Informationsaustausches zwischen Onboard Unit (fahrzeugseitig) und Road Side Unit (infrastrukturseitig) vorrangig zur Übermittlung von Statusinformationen und Verkehrssituationen vorgesehen sind.

Im Task 3.3 wurde der Telegrammaufbau, der in den ETSI Normen standardisierten CAM und der DENM Meldungen erarbeitet. Diese Meldungstypen wurden von den Fahrzeugherstellern für die C2I Kommunikation mit den Road Side Units standardisiert. Gleichzeitig wurde analysiert, welche Nachrichten von Fahrzeugen über C2I versendet werden und welchen Inhalt diese Nachrichten haben können.

Basierend auf den im Vorfeld definierten Use Cases und Ereignis/Reaktionsmatrizen wurden die für das KI Training relevanten Daten aus den CAM und DENM extrahiert und für den Datenaustausch zwischen den einzelnen KITT Komponenten deklariert.

1.1.3.4 AP 3 - Task 3.4 - IT-Sicherheit (an den Schnittstellen und als IDS)

In der UAG wurde ein Konzept entwickelt, wie mit Hilfe von Künstlicher Intelligenz Anomalien in den empfangenen C2I Daten entdeckt werden können. Gleichfalls soll die KI auch im Tunnelnetz potenzielle Cyberangriffe erkennen und melden. Dazu wurden mögliche Schwachstellen und Angriffsszenarien (Threat Events, Tabelle 6) über vorhandene Bedrohungskataloge identifiziert und zusammengestellt. Das Gesamtsystem soll später als Intrusion Detection Systems eingesetzt werden. Durch die Berücksichtigung der unterschiedlichen Vorarbeiten sind für das zu entwickelnde Intrusion Detection System eine Vielzahl an cybersicherheitsrelevanten Anomalien erfasst worden, welche die Sicherheitsanforderungen an das System grundlegend spezifizieren und die Basis für das Nutzungskonzept bilden.

Tabelle 6: AP3 – IT Sicherheit – Angriffsszenarien - Threat-Event-Katalog

#	Risiko	Thread Event	Beschreibung
1	hoch	TE-01	Denial of Service: Störung der Funkkanäle mittels Störsender Event Störung der Funkkanals mittels Störsender
2	hoch	TE-02	Beschädigung, Manipulation von CAM, DENM Daten
3	hoch	TE-03	Menschliches Versagen
4	hoch	TE-04	Fehlerhafte Konfiguration
5	hoch	TE-05	Spoofing: Einschleusen falscher Nachrichten / Informationen

1.1.3.5 AP 3 - Task 3.5 - Gesamtarchitektur

Im Task 3.5 wurde eine Gesamtsystemarchitektur entwickelt, die sicherstellt, dass alle relevanten Daten durch die in KITT entwickelten Prozesse systematisch analysiert und die Ergebnisse dem Operator in der Tunnelleitzentrale visualisiert werden können. Unter Einsatz von Security-by-Design-Prinzipien sollen flexible Schnittstellen die rasche Implementierung von KITT in bestehende Tunnelsysteme ermöglichen. SPIE OSMO hat hier gemeinsam mit den Projektpartnern die Anforderungen aus der deutschen Gesamtsystemarchitektur nach RABT/EABT mit eingebracht. Weiter beteiligte sich SPIE OSMO maßgeblich an der Erstellung eines Entwurfs der Gesamtsystemarchitektur unter Berücksichtigung bereits vorhandener Schnittstellen in der Tunnelleittechnik sowie der Einbindung neuer Schnittstellen (Road Side Units) für die C2X-Kommunikation.

Die gewonnenen Erkenntnisse und erarbeiteten Inhalte des AP 3 wurden als Bericht zum Deliverable 3 zusammengeführt und bilden eine Grundlage für die nachfolgenden Arbeitspakete. Das AP 3 wurde mit Juni 2022 abgeschlossen.

1.1.4 AP 4 KI

SPIE OSMO war am AP4 nicht direkt beteiligt.

1.1.5 AP 5 – Darstellung und Bewertung der Sicherheitslage

Ziel dieses Arbeitspakets ist die Entwicklung eines Konzepts zur Darstellung und Bewertung der Sicherheitslage in Echtzeit. Neben der Darstellung der aktuellen Sicherheitslage im Tunnel wurde eine Darstellung der historischen Entwicklungstrends angestrebt, um beispielsweise im Fall von zunehmenden Risiken durch das präventive Einleiten von Maßnahmen frühzeitig einer Ereigniseskalation entgegenwirken zu können. Hierzu wird eine Methode entwickelt, die die Operatoren in der Auswahl sowie in der effizienten Abarbeitung der einzuleitenden Maßnahmen unterstützt. Einen Überblick über das AP5 im gesamten Projektzusammenhang gibt die Abbildung 1 wieder.

Für die Darstellung der Ereignisse, Detektionen, der kommutierten und aggregierten Daten aus den KI-Modulen (Tunnel KI, C2I KI und IDS KI), der Tunneldaten und Detektionen und der Echtzeitrisikoanalyse in der Leittechnikumgebung wird ein Visualisierungskonzept auf Basis der Erkenntnisse aus dem Forschungsprojekt ESIMAS und den Vorgaben aus der „Einheitlichen Bedienoberfläche“ (EBO) des Bundeslandes Bayern entwickelt. Hierbei wurden erste Vorschläge zum Aufbau der Visualisierung erarbeitet.

Die verschiedenen KITT-Module kommunizieren über unterschiedliche Schnittstellen miteinander. In einer Schnittstellenbeschreibung wurden durch die Projektpartner die zur Kommunikation erforderlichen Austauschformate festgelegt. SPIE OSMO hat hier die wesentlichen Vorgaben erarbeitet und wurde dabei von der BASt, der Fa. DÜRR und BUNG unterstützt.

1.1.5.1 AP 5 - Task 5.1 – Integration in die bestehende Tunnelüberwachung

Die Integration der im AP 4 entwickelten KI-Verfahren zur Auswertung der Tunnel- und RSU-Daten wurde in die folgenden Untergruppen aufgeteilt:

- Identifizierung der in der Tunnelüberwachung eingesetzten übergeordneten Tunnelleitsysteme **-> Definition von Schnittstellen**
- Eruierung einer geeigneten Visualisierung und Integration der KI-Ergebnisse in die Tunnelüberwachung **-> Konzept zur Visualisierung der Ergebnisse**
- Planung, Programmierung und Parametrierung eines Visualisierungstools zur Darstellung der KI-Ergebnisse der Tunnelüberwachung **->Konzept zur Visualisierung der Ergebnisse**

Aufgrund der Sicherheitsrichtlinien durfte die Implementierung des KITT System nicht in die bestehenden Tunnelsysteme erfolgen. Deshalb wurde ein Standalone System mit eigener

Hardware aufgebaut. Die KITT Module wurden für eine Dockerumgebung erstellt, die auf einem Linux System gehostet wird, das den Server des KITT Systems abbildet.

Die Installation und Konfiguration aller Hard-, Software und Netzwerkkomponenten wurde von der Fa. SPIE OSMO durchgeführt.

Die Schnittstellendefinitionen wurden in Zusammenarbeit mit den Ausstattern der betriebstechnischen Einrichtungen ermittelt. Das im Tunnel eingesetzte SCADA-System ist das von der Firma Siemens vertriebene Produkt WinCC OA in der Version 3.19. Als Archivierungsdatenbank ist eine influxDB-Instanz eingerichtet.

Ein übergeordnetes Tunnelleitsystem existiert im Rosensteintunnel nicht. Die Möglichkeit zur Kopplung an ein solches System wurde im KITT-System berücksichtigt und könnte im Bedarfsfall nachgerüstet werden.

In nachfolgender Abbildung 3 ist das Gesamtsystem, bestehend aus der Tunnelleittechnik, dem KITT-System und dem realisierten Fernzugang über VPN, dargestellt. Auf dem KITT-Server sind alle Software-Komponenten installiert und konfiguriert.

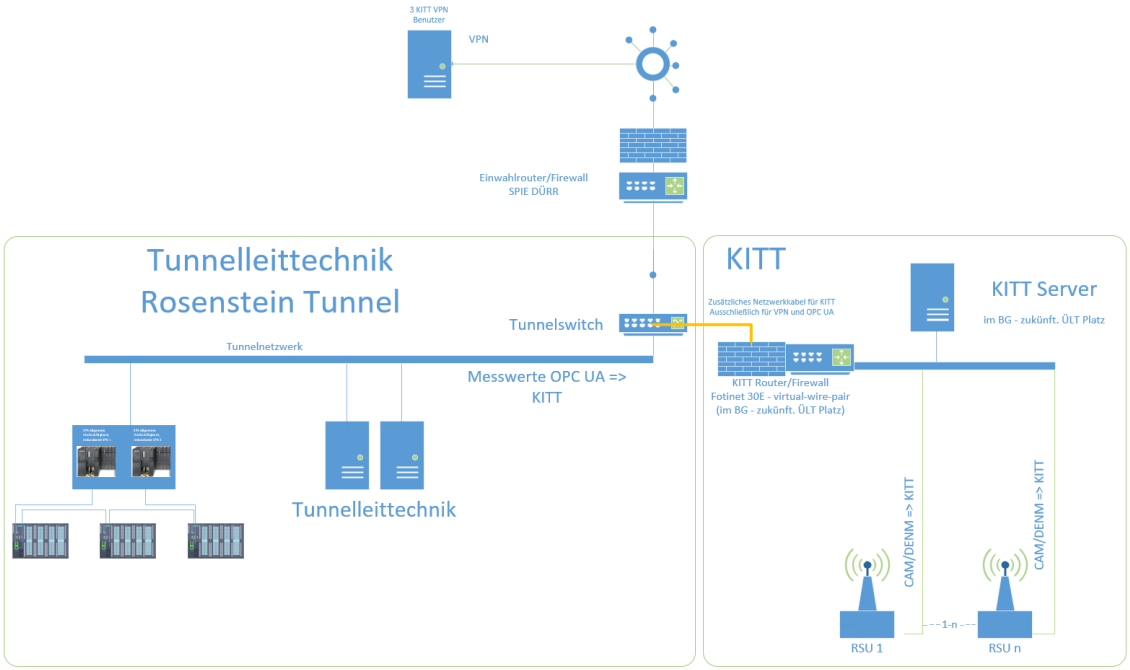


Abbildung 3: Übersicht KITT und die Tunneltechnik

Das zentrale Element des Systems bildet ein sog. Information bzw. Message Broker (MB). Dieser ermöglicht die Anbindung von externen Systemen sowie die Verteilung sämtlicher Daten und Informationen an die verschiedenen Module innerhalb des KITT-Systems.

Im Einzelnen besteht das KITT-System aus einem Preprocessing-Modul zur Datenaggregation, einem Visualisierungsmodul, KI-Module zur Safety Event Detection und zur Security

Event Detection sowie einem Bewertungs- und Maßnahmenmodul zur Durchführung von Risikoanalysen und Risikobewertungen sowie zur Unterbreitung von Maßnahmenvorschlägen in Abhängigkeit der aktuellen Sicherheitslage innerhalb des Tunnels.

Das KI-Modul der Safety Event Detection dient zur Erkennung von Ereignissen auf Basis von C2I-Daten sowie von Daten aus der Tunnelüberwachung. Für die Erkennung von Cyber-Angriffen dient das KI-Modul der Security Event Detection.

Für die Entwicklung der KI-Module wurde eine Möglichkeit geschaffen, um über den Information Broker auf Trainingsdaten zugreifen zu können. In der ersten Phase von KITT erfolgte dies über die Bereitstellung von Daten, die über Simulationen generiert wurden (siehe AP 6). In der zweiten Phase von KITT wurden hierzu Realdaten verwendet.

Die Anbindung der externen Systeme erfolgt im Realbetrieb über Interfaces (IF) bzw. Gateways (GW). Zur Kommunikation mit der zentralen Leittechnik (ZLT) wird der OPC UA-Standard verwendet. Die Kommunikation mit den RSU erfolgt über das MQ Telemetry Transport (MQTT) Protokoll. Die Übersicht der implementierten KITT Module ist in der folgenden Abbildung abgebildet.

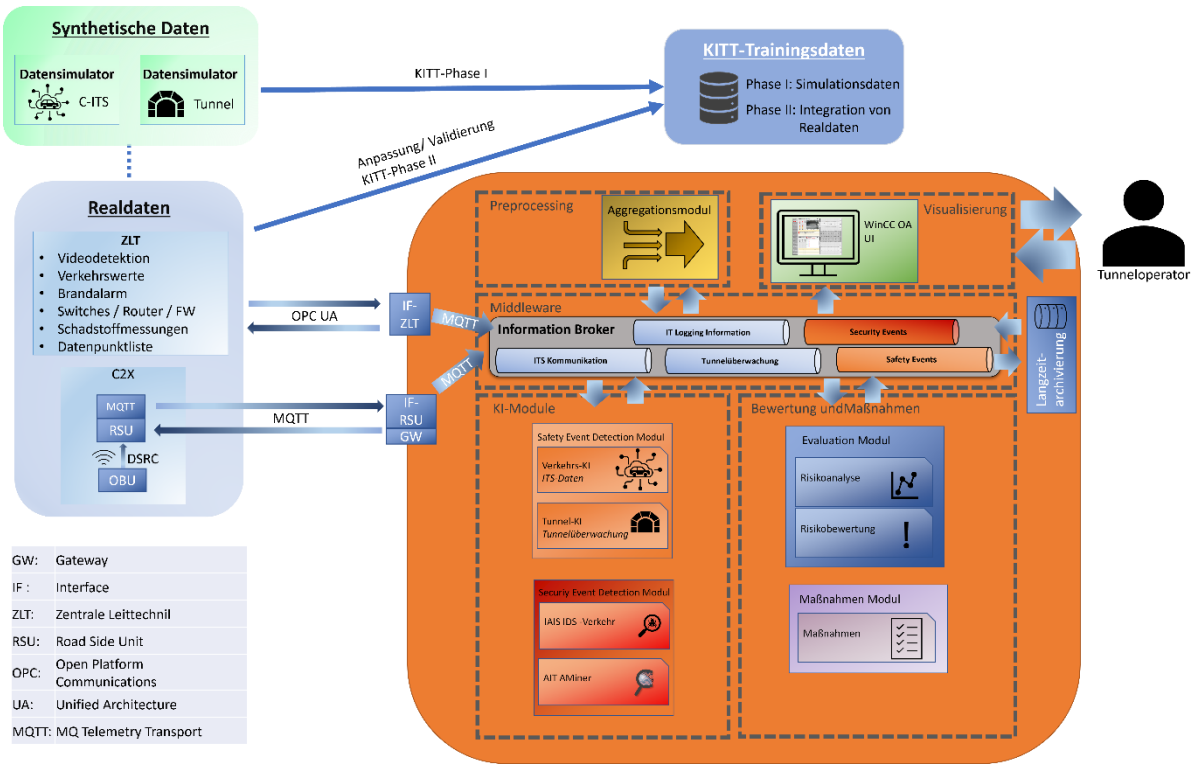


Abbildung 4: Aufbau KITT-Systemmodule

1.1.5.2 AP 5 - Task 5.2 – Maßnahmen für das Ereignismanagement

Der sichere Betrieb eines Straßentunnels erfordert ein effizientes Ereignismanagement, das eine schnelle Reaktion auf eine Vielzahl von Stör- und Notfällen mit darauf abgestimmten Maßnahmen ermöglicht. Ziel des Ereignismanagements ist es, nicht nur durch reaktive Maßnahmen, sondern auch durch präventive Maßnahmen einer Gefahreneskalation entgegenzuwirken. Hierzu wird auf Basis der in AP 3 erarbeiteten Use-Cases ein Maßnahmenkatalog entwickelt, der eine strukturierte Zusammenfassung der einzelnen Maßnahmen ermöglicht und die Grundlage für Schalt- bzw. Handlungsempfehlungen bei der Ereignisbewältigung bildet.

Für Tunnel sind sog. Alarm- und Gefahrenabwehrpläne (AGAP) aufzustellen. Diese dienen den überwachenden Stellen (z.B. Tunnelleitzentrale, Integrierte Leitstellen) sowie den Einsatzdiensten (Polizei, Feuerwehr, Rettungsdienste) und Betriebsdiensten der Vorbereitung auf bzw. der Bewältigung von Stör- und Notfällen. Sie enthalten Meldewege sowie Maßnahmenpläne für die überwachenden Stellen, Einsatzdienste und Betriebsdienste, Erläuterungen und Pläne zum Bauwerk und den sicherheitstechnischen Einrichtungen sowie eine Reihe von externen Dokumenten, wie z. B. Alarm- und Ausrückeordnungen (AAO), Feuerwehrpläne etc. Die Maßnahmenpläne für die überwachenden Stellen enthalten Handlungsanweisungen für im Tunnel auftretende Ereignisse wie Alarme und Störungen, die in einer Ereignis-Wirk-Matrix zusammengefasst werden. Bei den Ereignissen wird unterscheiden zwischen Brand, Unfall, Verkehrsstörungen, technische Alarme und technische Störungen. In Abhängigkeit der Ereignismeldung wird das Einleiten spezifischer Maßnahmen erforderlich. Dies umfasst die Alarmierung von Einsatzdiensten, das Aktivieren betriebstechnischer Anlagen, die Schaltung verkehrstechnischer Einrichtungen, die Beseitigung von Störungen. Nachfolgende Tabelle 7 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Ereignis-Wirk-Matrix, wie sie in den E-ABT [1] bzw. RE-ING [2] enthalten ist.

Auf Grundlage eines Muster Alarm- und Gefahrenabwehrplans und den Datenkatalogen wurden Maßnahmen für den Bereich C2X identifiziert und in einem Katalog zusammengefasst. Solche Maßnahmen sind zum Beispiel das Warnen der Tunnelnutzer über die IVI-Nachricht. Im nächsten Schritt wurden die Maßnahmen den Ereignisszenarien zugeordnet.

Darüber hinaus fand eine Identifizierung und Abschätzung von Einsparpotentialen bei der konventionellen Tunneltechnik statt. Im Zuge dessen wurden erforderliche Durchdringungsraten, Redundanzen und Synergieeffekte, sowie zusätzliche Informationsgehalte durch C2X betrachtet und diskutiert.

Tabelle 7: Wirkmatrix nach EABT [1] / RE-ING [2]

Legende:	
Evaluierung des Ereignisses durch den Bediener: Entscheidung zur Einleitung von Maßnahmen oder Abbruch	✍
Automatische Systemreaktion ohne Bedienereingriff	■
Halbautomatische Systemreaktion nach Bestätigung durch den Bediener	□
Manuell zusätzlich aktivierte Maßnahme durch den Bediener nach Lagebeurteilung	☝
Aufhebung der Maßnahme nur nach Freigabe durch den Bediener	✓
Hinweis: Bediener ist das Personal in der ständig besetzten Stelle	

	AUSLÖSENDES EREIGNIS:															Brandmeldung über...				
Maßnahmen:	Überschreitung Außenleuchtdichte	Ausfall Adaptions- und/oder Durchfahrtbeleuchtung	Grenzwertüberschreitung Sichttrübe / CO	Ausfall Brandlüftung > 5 Minuten	Zähfließender Verkehr oder Stau	Kritisches Stauniveau erreicht	Person im Tunnel	Blockierter Seitenstreifen / Belegte Pannenbucht	Blockierte Fahrstreifen	Auslösung Höhenkontrolle in Zufahrt	Überflutung	Ausfall Netzversorgung > 5 Minuten	Öffnen Notausgang	Nutzung Rufsäule	Nutzung Notrufeinrichtung	... ständig besetzte Stelle	... Sichttrübe	... Handfeuermelder, Entnahme Feuerlöscher	... Linienmelder	.... Brandmelder im Betriebsgebäude
Start Ereignis																				
Ereignisorientierte Aufschaltung Video				■	■	■	■	■	■	■	■		■	■	■		■	■	■	■
Warnleuchte an betroffener Notrufstation sowie Notrufstation stromauf / stromab														■	■					
Eingriff ständig besetzte Stelle bei Einleitung der Maßnahme (Situationsbewertung)					✍		✍	✍	✍				✍	✍			✍	✍		✍
Durchfahrtbeleuchtung 100%																■	□	■	■	
Selbstleuchtende Markierungselemente und Fluchtwegkennzeichnung 100%																■	□	■	■	
Aktivierung der Brandlüftung																■	□	□	■	
Überdruckbelüftung der Rettungswege													□			■	□	■	■	
Herabsetzen zulässige Höchstgeschwindigkeit in den betroffenen Röhren	■	■			■		□	□	□				■	□	■					
Gefahrenwarnung in den betroffenen Zufahrten und Röhren					■		□	□	□				■	□	■					
Reduktion des Zuflusses					☝															
Sperrung von Fahrstreifen in betroffener Röhre									☝											
Sperrung der betroffenen Röhre(n)			■	■		■			☝	■	■									
Sperrung aller Röhren												■				■	□	□	■	□
Aktivierung automatische Lautsprecherdurchsagen und Verkehrsfunk																■	□	□	■	
Eingriff ständig besetzte Stelle oder vorort bei Aufhebung der Maßnahme		✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Ende Ereignis																				
Mindestens erforderliche Ausstattung der verkehrstechnischen Einrichtungen	G	G	M	M	G	M	G	G	E	M	M	M	G	G	G	M	M	M	M	M

1.1.6 AP 6 – Demonstration

In AP 6 erfolgt der Funktionsnachweis der Entwicklungen anhand beispielhaft umgesetzter Konzeptelemente sowie die Bewertung und Ableitung von Optimierungsmöglichkeiten unter Laborbedingungen. Die Leitung des AP 6 erfolgt durch die BASt.

Aufgrund der Verzögerungen der Ausstattung des als Demonstrator festgelegten Rosensteintunnels in Stuttgart mit Road Side Units und insbesondere aufgrund des sehr geringen Anteils C-ITS fähiger Fahrzeuge am Gesamtverkehr von weniger als 1% soll die Demonstration nicht wie ursprünglich vorgesehen anhand realer im Tunnel gesammelter Daten erfolgen. Als Lösungsansatz zur Nachweiserbringung des KITT-Konzeptes sowie zur Prozessoptimierung wurde sich darauf geeinigt, synthetisch generierte Daten auf Basis von Simulationen zu verwenden (siehe AP 5). Dazu wurde der Demonstratortunnel anhand eines realitätsnahen Modells zur detaillierten Abbildung des Verkehrsflusses inkl. aller individuellen Fahrzeugbewegungen abgebildet. So kann die tatsächliche Situation im Tunnel simuliert werden, um darauf aufbauend die C2X-Nachrichten, welche die Fahrzeuge kontinuierlich aussenden, erzeugt werden. Damit können die in KITT erarbeiteten Innovationen trotz fehlender Realdaten in einer praktischen Umgebung anhand realer Tunnel erprobt und optimiert werden.

1.1.6.1 Task 6.1 – Szenarien

Für relevante Szenarien (z.B. Fahrzeugkollision mit Brandentwicklung, Cyber-Angriff) wurden aus den in Task 3.1 erstellten Use-Cases Ereignisablaufszenarien, sog. Storyboards abgeleitet und erstellt. Dies erfolgte insgesamt für 20 Szenarien (AP 5.2), die den 4 UseCases aus AP 3.1 zugeordnet wurden. Diese Szenarien werden über Simulationen nachgebildet, um so Daten zu erzeugen, die wiederum über einen Datengenerator als Ereignissimulation in die Tunnelleittechnik eingespielt werden können. Der Aufbau der Storyboards erfordert die Festlegung von Bedingungen (z.B. geografische und zeitliche Bedingungen, Fahrverhalten) sowie die Beschreibung und Festlegung der Effekte wie z.B. Geschwindigkeit oder individuelles Fahrverhalten. Die daraus resultierenden Datensätze werden kontinuierlich an das KI-Modul zu Trainingszwecken (AP 4) übergeben. Gleiches ist für die Verkehrsdaten und Betriebsdaten des Tunnels durchzuführen. Eine Grundlage liefern hier historische Datensätze des Betreibers aus einem realen Tunnel. Zudem erfolgte in diesem Task die Festlegung der Übergabepunkte der Ereignisdaten. Darüber hinaus fanden mehrere Abstimmungsrunden mit der Stadt Stuttgart zur Realisierung des Demonstrators im Rosensteintunnel statt.

1.1.6.2 Task 6.2 – Durchführung

Die in Task 6.1 erstellten Ereignisabläufe und die daraus abgeleiteten Simulationen wurden entsprechend des Datenintegrationskonzepts (Task 5.1) an das KI-Modul übergeben, wo sie

gemäß der in Task 3.5 erstellten Rahmenarchitektur mit KI-Methoden trainiert, und im weiteren Projektverlauf analysiert wurden. Zudem erfolgte der Aufbau eines Demonstrationskonzeptes sowie die Erstellung eines Systemintegrationskonzeptes auf deren Basis schließlich der Aufbau des KITT-Demonstrators in der Betriebszentrale des Rosensteintunnels erfolgen konnte. Nach dem Systemaufbau vor Ort erfolgte eine Testphase, in der die grundsätzliche Funktionalität und das Zusammenwirken der Komponenten hergestellt und überprüft wurde. Im Zuge der Demonstration, die am 06. und 07.12.2023 im Rahmen einer nächtlichen Tunnelsperrung im Rosensteintunnel stattfand, konnte somit schließlich die Funktionalität des KITT-Systems anhand definierter Szenarien nachgewiesen werden.

1.1.6.3 Task 6.3 – Evaluierung

Nach der Demonstration konnte das KITT-System noch für einen über die Projektlaufzeit hinaus gehenden Zeitraum in der Betriebszentrale verbleiben. Auch wenn die RSU in der Tunnelmitte keine Daten empfangen konnte, so lieferten die RSUs in den Portalbereichen interessante Werte, die Aufschluss über den grundsätzlichen Anteil C-ITS-fähiger und sendender Fahrzeuge liefern. Abbildung 5**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt exemplarisch die aufsummierten und aufgezeichneten CAMs. Auf diesen ist gut ersichtlich, dass am Ostportal noch in den Tunnel hinein durchaus das Senden der C-ITS-Daten durch die Fahrzeuge erfolgt. Sobald die Fahrzeuge den Tunnel durch das Westportal verlassen und ein ausreichend starkes GPS-Signal empfangen, senden die Fahrzeuge wieder automatisch C-ITS-Daten. Die vom Westportal empfangenen C-ITS-Daten liegen eigentlich außerhalb des maximalen Empfangsradius der RSU (DSRC, ca. 300 m). Eine mögliche Erklärung könnten Reflexionen an den Gebäuden oder Tunnelwänden sein. Dieses Phänomen wurde nicht weiter untersucht.

Die Abbildung 6**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** zeigt wie weit anhand zweier exemplarischer Fahrzeuge mit unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten Nachrichten empfangen werden. Während das Fahrzeug A mit einer Geschwindigkeit von ca. 51 km/h Stunde noch ca. 370 Meter nach Einfahrt in den Tunnel Nachrichten sendet, versendet das Fahrzeug B mit einer Geschwindigkeit von 75 km/h sogar bei ca. 457 Meter nach Einfahrt in den Tunnel Nachrichten aus. Um hier allgemeingültige Aussagen zum Signalempfang, zu dem Erfordernis von GPS im Tunnel oder Anzahl und Platzierung von RSUs ableiten zu können, sind weitere Reichweiten- bzw. Signaltests erforderlich.

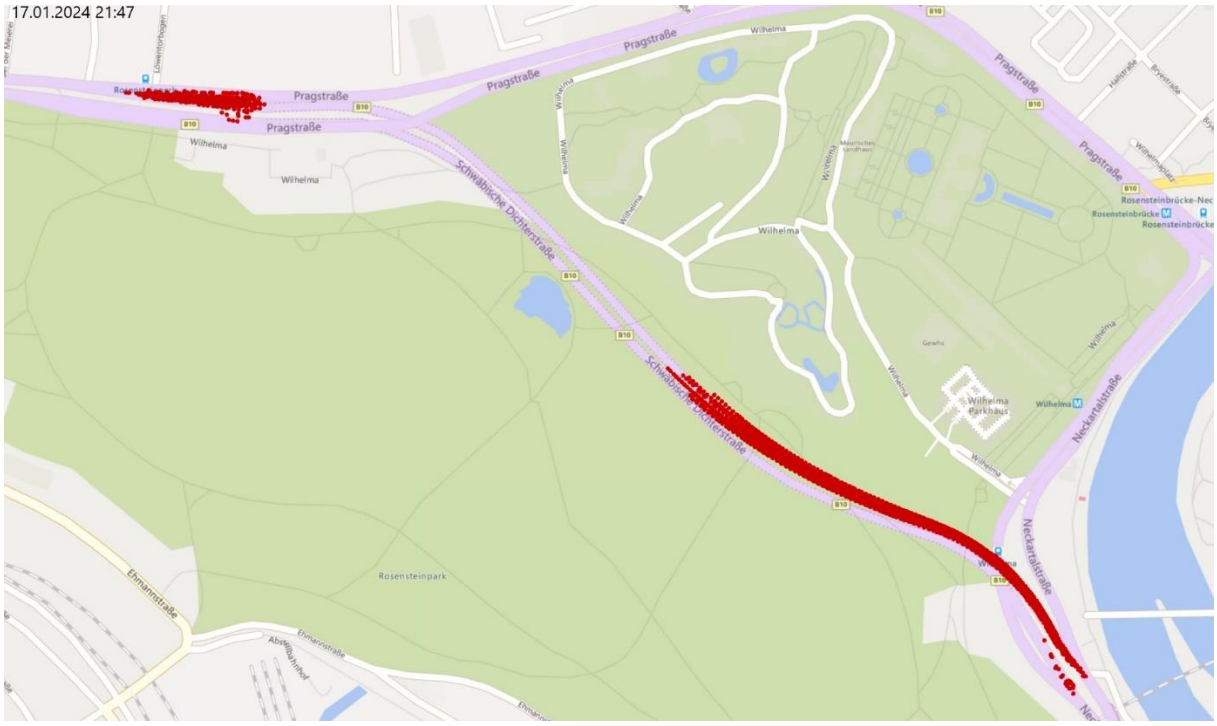


Abbildung 5: CAMs kumuliert am 17.01.2024 im RST

Abbildung 6: RSU Reichweite im RST

Da keine direkte Nutzung des Systems durch Operatoren erfolgte, wurde eine Evaluierung aus den Erkenntnissen der ca. 1-monatigen Phase gezogen, in der das System unter Realbedingungen lief, sowie ein grundsätzliches Feedback der involvierten Betreiber aufgezeigt. Darüber hinaus wurde geprüft, ob sich das entwickelte Konzept auch auf andere Bauwerke übertragen lässt. Dies wurde am Beispiel der Einhausung Zederhaus in Österreich durchgeführt.

Im Ergebnis liegt eine technisch umgesetzte Systematik mit erstem Verifikationsergebnis vor, deren Entwicklung Grundvoraussetzungen wie z.B. eine 100 % Durchdringungsrate mit C-ITS-fähigen Fahrzeugen sowie die vollständige Abdeckung von Tunnelbauwerken mit Satellitenkommunikation, als Voraussetzung hatte. Um die Übertragbarkeit des Systems zu gewährleisten und um einen Systemprototypen für eine betriebliche Umgebung zu entwickeln, muss das System für eine hinreichende Dauer im Realbetrieb erprobt und weiter geschärft werden.

Mit dem KITT-Projekt konnte erfolgreich nachgewiesen werden, dass ein großer Mehrwert in der Einbindung der neuen bzw. zusätzlichen Informationen aus der C-ITS besteht und Verfahren der KI sich mit dem Ziel die Sicherheit und die Ereignisprävention von Tunneln zu verbessern deutlich eignen.

1.1.7 AP 7 – Verwertung

1.1.7.1 Task 7.1 – Empfehlung

Die im Rahmen des Projektes entwickelten Lösungen und Konzepte, sowie die Randbedingungen und Voraussetzungen für die Nutzung ebendieser, sind hinsichtlich der Anwendung in der Praxis zu bewerten. Auf Basis des erlangten Projektstandes und des funktionellen Nachweises lassen sich erste Empfehlungen zur Umsetzung ableiten. Diese werden in einem Leitfaden kompakt dargestellt und sind der Anlage des Berichtes zum Arbeitspaket 7 zu entnehmen.

Darüber hinaus wurden Strategien zur Umsetzung der Nutzung des im KITT-Projekt entwickelten Ansatzes abgeleitet. Dahingehend wurden Harmonisierungs- und Entwicklungsbedarfe, die Erfordernis zur Überführung in Normen und Richtlinien und Anforderungen im Vergleich zur freien Strecke aufgezeigt.

1.1.7.2 Task 7.2 – Wissenschaftliche Verwertung

Die Ergebnisse des Projektes wurden sukzessive veröffentlicht und auf Konferenzen und in nationalen Gremien (z.B. betriebstechnischer Erfahrungsaustausch der Tunnelbetreiber in den Bundesländern, Arbeitsausschuss 3.8: „Ausstattung und Betrieb von Straßentunneln“ der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen), europäischen Gremien (z.B. “Road Tunnel Safety Committee” der EC zur Direktive 2004/54/EC,), sowie in internationalen Gremien (World Road Association (PIARC)) eingebracht und diskutiert, um einen intensiven wissenschaftlichen Austausch und frühe anschließende Anwendung der Projektergebnisse zu ermöglichen. Darüber hinaus erfolgte aufgrund des thematischen Fokus von KITT die Disseminierung von Ergebnissen auf verschiedenen hochrangig akademischen Fachkonferenzen. Dafür wurden die Ergebnisse von KITT hinsichtlich ihres Inhaltes aber auch bezüglich der Bedeutung des Erkenntnisgewinns für die jeweiligen Anwendergruppen zielgruppengerecht aufbereitet. Durch das Einbringen der Ergebnisse in die Gremien konnte aufgezeigt werden, welche innovativen Themen zukünftig für Regelwerksüberarbeitungen zu berücksichtigen sind.

1.1.8 AP 8

1.1.9 Vergleich der Ergebnisse mit den vorgegebenen Zielen

In Abstimmung mit den übrigen Projektpartnern wurde am 06.10.2022 eine kostenneutrale Verlängerung des Gesamtprojektes um 9 Monate beantragt und vom Bundesministerium für Bildung und Forschung am 09.11.2022 bewilligt. Eine Verlängerung war aufgrund verschiedener Gegebenheiten erforderlich. Unter anderem führten die unterschiedlichen Projektstartpunkte der beiden Konsortien zu unterschiedlichen Arbeitsständen, die es zu harmonisieren galt. Dies wurde durch die zu Projektbeginn ausschließlich digitale Zusammenarbeit aufgrund der Pandemie-Situation weiter erschwert. Verzögerungen entstanden weiter durch die Verfügbarkeit von Ansprechpartnern für die Experteninterviews im Zuge der Nutzerbedarfsanalyse. Hinzu kamen Verzögerungen bei der Ausstattung des Demonstratorbauwerks, dem "Rosensteintunnel" aufgrund von Lieferengpässen aufgrund der COVID-19-Pandemie, die insbesondere technische Tunnelausstattungskomponente betrafen. Inhaltlich traten Verzögerungen auf, da die Verfügbarkeit von C2X-Daten aus dem realen Verkehrsgeschehen sich als nicht ausreichend herausstellte, was die Nutzung von synthetischen Daten über Simulationsumgebungen erforderte und entsprechend zusätzliche Aufwände zur Einarbeitung und Arbeit mit der Simulationsumgebung berücksichtigt werden mussten.

Die Ziele des SPIE OSMO Teilvorhabens wurden mit einer Verschiebung von 9 Monaten zum 31.12.2023 vollständig erreicht.

1.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Ein Großteil der Zuwendung für SPIE OSMO wurde für Personalkosten verwendet. Die umfangreichen Arbeiten, die durch SPIE OSMO im Rahmen des Projektes erbracht wurden, mit vorhandenem Stammpersonal durchgeführt.

Weiter wurden Mittel für Sachkosten, sowie für Reisen zu Arbeitssitzungen oder Fachtagungen verwendet. Zur detaillierten Aufstellung der Mittelverwendung im Projekt wird auf den Gesamtausgabennachweis verwiesen.

Im Vergleich zur Vorkalkulation ist der tatsächliche Aufwand deutlich geringer ausgefallen. Die kalkulierte Hardware wurde nicht benötigt, da der Rechner für den Demonstrator Projektpartner IAIS bereitgestellt wurde. Auf Grund der nur sehr kurzen Demonstrationsphase wurde des Weiteren auf eine eigenständige Lizenz für das Visualisierungssystem verzichtet. Hier wurde auf InHouse Entwicklerlizenzen zurückgegriffen, die im Demonstrationszeitraum nicht für andere Projekte benötigt wurden. Somit entfällt die Position Material komplett.

1.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Das Projekt KITT könnte in Zukunft einen wesentlichen Beitrag zur Steigerung der Verkehrssicherheit geleistet. Gemäß den Richtlinien in Deutschland, müssen Straßentunnel mit einer Länge von über 400 m an einer ständig besetzten Stelle (der “Tunnelleitzentrale”) überwacht werden. Aufgrund der zunehmenden Anzahl von Tunnelbauwerken und der Tendenz zur zentralisierten Überwachung mehrerer Tunnel in einer Leitzentrale steigen die Anforderungen an die Operatoren kontinuierlich.

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurde KITT entwickelt, um die Operatoren in den Bereichen Überwachung, Diagnose und Ereignismanagement/-prävention zu unterstützen und zu entlasten. KITT verbessert mit Hilfe von KI und C2X die Ereignisdetektion. Für eine schnellere Diagnose erhalten die Operatoren eine benutzerdefinierte Schnittstelle, über die sie schnellen Zugriff auf aufgabenspezifische und handlungsrelevante Informationen haben. Die angepasste Systemfunktionalität und die nutzerfreundliche Visualisierung ermöglichen eine schnelle und zielgerichtete Situationseinschätzung der Operatoren, einschließlich einer Echtzeit-Online-Sicherheitsbewertung.

Insgesamt führt dies zu:

- Einer Verringerung der kognitiven Belastung der Operatoren.
- Einer verkürzten Reaktionszeit der Operatoren und somit zu einer früheren Einleitung der Selbstrettungsphase.

Darüber hinaus kann ein teilautomatisiertes Expertensystem den Operatoren geeignete präventive und reaktive Handlungsempfehlungen anzeigen, um die Auswahl einer angemessenen Eingriffsstrategie zu unterstützen.

1.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses

Im Projekt KITT wurde der Demonstrator für ein Expertensystem zur Überwachung von Straßentunneln unter Einbezug von KI und C2X entwickelt. KITT bietet einen ganzheitlichen, modularen Ansatz zur Überwachung von Straßentunneln, der sowohl die präventive Ereignisvermeidung als auch die schnelle Ereigniserkennung und -bewältigung verbessert. Dieser Ansatz geht deutlich über die aktuellen Möglichkeiten der Tunnelsteuerung und der Überwachung durch übergeordnete Leitsysteme hinaus.

Die zukünftige Unterstützung der Tunnelüberwachung mit KITT würde zu einem erheblichen Sicherheitsgewinn für Verkehrsteilnehmer führen. Durch die umfangreichere und genauere Erfassung sowie Auswertung von Informationen würden die Verantwortlichen in den Tunnelleitzentralen besser und schneller informiert und könnten entsprechend reagieren.

KITT kombiniert Echtzeitdaten von Sensoren und Sicherheitseinrichtungen, wertet sie anhand einer quantitativen Risikoanalyse aus und visualisiert die Ergebnisse. Dadurch können bereits potenzielle Risikosituationen erkannt und mögliche Ereignisse verhindert werden.

KITT bietet eine erhebliche Sicherheitssteigerung für Verkehrsteilnehmer bei vergleichsweise geringem Aufwand. Dies resultiert aus der präventiven Lenkung der Aufmerksamkeit der Operatoren und der Möglichkeit, frühzeitig gezielte Maßnahmen einzuleiten.

Das KITT-Projekt wurde auf verschiedenen Fachkonferenzen im Bereich Tunnelwesen und Verkehrssicherheit einem breiteren wissenschaftlichen Publikum vorgestellt.

1.5 Bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Es sind von dritter Stelle keine Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant waren.

1.6 Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Nachfolgend sind die Konferenzen und Fachtagungen aufgeführt, an denen zu KITT bis dato referiert wurde:

- 1. Fachkongress Digitale Transformation der Verkehrsinfrastruktur (TA Esslingen 2021), (06.2021), Esslingen
  - Mayer, G.; Lehan, A.: Kooperative Systeme in Straßentunneln - Potentiale aus der Nutzung der C2X-Kommunikation für die Tunnelüberwachung
- STUVA-Tagung (11.2021), Karlsruhe
  - Mayer, G., Lehan, A.; Mobilität 4.0 – Chancen und Risiken für einen sicheren Straßentunnelbetrieb durch Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur

PIARC 2nd International Conference on Road Tunnel Operations and Safety & VIII SPANISH TUNNELS SYMPOSIUM (10.2022), Granada

Mayer, Georg: Cooperative Systems in Road Tunnels - Potentials using C2X Communication for Tunnel Monitoring

- Lehan et al.: KITT - Artificial Intelligence to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres

- IRIS2022 Konferenz (02.2022), Salzburg
  - Fleisch et al.: Tunnelsicherheit: Rechtsfragen zum Einsatz von C-ITS und künstlicher Intelligenz
- Transport Research Board (TRB) (01.2023), Washington
  - Kaundinya, Ingo: KITT - Artificial Intelligence to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres

- IRIS2023 Konferenz (02.2023), Salzburg
  - Zanol, J.; Fleisch, J.; Wahl, H.; Latzenhofer, M.; Bonitz, A.; Kammerer, H.: KI-Systeme in der Verkehrsinfrastruktur – Ein Ausblick auf das zukünftige Haftungsrecht
- 5. Deutschen Tunnelkongresses (ITS Germany) (04.2023), Garmisch-Patenkirchen
  - Lehan, Anne: Innovativer Ansatz zur Verbesserung der Tunnelsicherheit unter Einbindung von C2X-Daten (Projekt KITT)
- 10th International Symposium on Tunnel Safety and Security (ISTSS 2023) (04.2023), Stavanger

  Kammerer, H.; Klampfer, B.; Lehan, A.; Wahl, H.: Innovative approach to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres
- World Tunnel Conference 2023 (WTC) (05.2023), Athen

  Kaundinya, Ingo: KITT - Artificial Intelligence to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres
- 2. Fachkongress Digitale Transformation der Verkehrsinfrastruktur (TA Esslingen 2023), (06.2023), Esslingen
  - Mayer, G.; Lehan, A.: Integration der C2X-Technologie in die Tunnelüberwachung
- DMT-Tagung 2023 (09.2023), Trier
  - Mayer, G.; Lehan, A.: Mobilität 4.0: Kommunikation zwischen Fahrzeug und Infrastruktur
- PIARC World Road Congress (WRC) 2023 (10.2023), Prag

  Kaundinya, Ingo: KITT - Artificial Intelligence to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres
- 15. Erfahrungsaustausch Tunnelbetrieb der Länder (10.2023), Erfurt
  - Lehan, Anne: Nutzung von C2X-Daten zur Verbesserung der Tunnelsicherheit unter Anwendung von Verfahren der Künstlichen Intelligenz
- STUVA-Tagung (11.2023), München
  - Lehan, A.; Mayer, G.; Jacobsen, K.; Siebe, R.: KITT - Künstliche Intelligenz zur Verbesserung der Sicherheit von Tunneln und Tunnelleitzentralen

Darüber hinaus erfolgten Veröffentlichungen in Sammelwerken. Diese sind nachfolgend aufgeführt:

- Mayer, G.; Lehan, A.: Kooperative Systeme in Straßentunneln - Potentiale aus der Nutzung der C2X-Kommunikation für die Tunnelüberwachung. In: Tagungsband zur 1. Fachkongress Digitale Transformation im Lebenszyklus der Verkehrsinfrastruktur, Esslingen, 2021, S.191-204
- Mayer, G.; Lehan, A.: Mobilität 4.0 – Chancen und Risiken für einen sicheren Tunnelbetrieb, In: Forschung + Praxis - U-Verkehr und unterirdisches Bauen, Band Nr. 56, Internationales Forum für Tunnel und Infrastruktur, STUVA Tagung 2021, ISBN 978-3-00-070615-8, S.406-412

- Lehan, A. et al.: KITT – Artificial Intelligence to improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres, In: Proceedings from the PIARC 2nd International Conference on Road Tunnel Operations and Safety & VIII Spanish Tunnels Symposium, Volume I, Granada, Spain, October 25th-28th, 2022, S. 321-335
- Lehan, A. et al.: Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz zur Verbesserung der Sicherheit von Tunneln und Tunnelleitzentralen unter Einbezug der Car-to-Infrastructure-Communication– Ergebnisse aus dem Forschungsvorhaben KITT, In: Forschung + Praxis - U-Verkehr und unterirdisches Bauen, Band Nr. 59, Internationales Forum für Tunnel und Infrastruktur, Tagungsband STUVA Tagung 2023, München, ISBN 978-3-944919-40-9, S.456-461

Kammerer et. al: Innovative approach to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres, Proceedings from the 10th International Symposium on Tunnel Safety and Security, Stavanger 2023, p.205-215

- Fleisch et al.: Tunnelsicherheit: Rechtsfragen zum Einsatz von C-ITS und künstlicher Intelligenz, IRIS2022 Konferenz (02.2022), Salzburg,
- Zanol, J.; Fleisch, J.; Wahl, H.; Latzenhofer, M.; Bonitz, A.; Kammerer, H.: KI-Systeme in der Verkehrsinfrastruktur – Ein Ausblick auf das zukünftige Haftungsrecht IRIS2023 Konferenz (02.2023), Salzburg

Weiter erfolgten Veröffentlichungen in Aufsätzen. Diese sind nachfolgend aufgeführt:

Lehan, A. et al.: KITT – Artificial Intelligence to Improve the Safety of Tunnels and Tunnel Control Centres, In: PIARC Routes/Roads – Features Road Tunnels, No. 396 – 1st quarter 2023, PIARC – World Road Association, ISSN: 2826-312X, 2023, p.48-52

- Lehan, A.: Künstliche Intelligenz soll deutsche und österreichische Tunnel noch sicherer machen, Informationsbrief der Zivilen Sicherheit, Ausgabe 02-2023, 2023, S. 3-5

Lehan, A., Kaundinya, I.: Combining tunnel sensors and C2X technologies to improve tunnel safety in Germany, BASt topics, Sonderausgabe zum PIARC World Road Congress 2023 in Prag

- Lehan, A. et al: Nutzung von C2X-Daten zur Verbesserung der Tunnelsicherheit unter Anwendung von Verfahren der künstlichen Intelligenz (Projekt KITT), BASt Jahresbericht 2023, Bergisch Gladbach, 2024

Auch über die Projektlaufzeit hinaus werden die Projektpartner die Projektergebnisse weiterverbreiten. Nachfolgend sind geplante Vorträge aufgeführt:

- Tunnel Safety & Ventilation Graz 2024
  - Kammerer, H.; Lehan, A.; Klampfer, B.: Innovative approach to improve the safety of tunnels and tunnel control centres, Graz, April 2024

- *Tunnelkongress Polen 2024*
  - *Kaundinya, I.; Lehan, A.: Innovative approach to improve the safety of tunnels and tunnel control centres, Polen, Mai 2024*

LITERATURVERZEICHNIS

[1] EABT 80/100 - Empfehlungen für die Ausstattung und den Betrieb von Straßentunneln mit einer Planungsgeschwindigkeit von 80 km/h oder 100 km/h, Hrsg. FGSV, Technische Regelwerke Nr. 339/1, 2019, ISBN: 978-3-86446-235-1.

[2] RE-ING - Richtlinien für den Entwurf, die konstruktive Ausbildung und Ausstattung von Ingenieurbauten, Hrsg.: Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV), Stand 2023/03, Teil 3 Tunnel