

Schlussbericht des Verbundes

- öffentlich einsehbar -



Zuwendungsempfänger: Konsortialführer DLR	Förderkennzeichen: 01ME22001A
Projektpartner - FZI Forschungszentrum Informatik 76131 Karlsruhe - GFT Software Solutions GmbH 78467 Konstanz - Intel Deutschland GmbH 85579 Neubiberg - VITRONIC Dr.-Ing. Stein Bildverarbeitungssysteme GmbH 65189 Wiesbaden - MATRIX VISION GmbH 71570 Oppenweiler Deutschland (jetzt Balluff)	01ME22001F 01ME22001C 01ME22001B 01ME22001E 01ME22001D
Kontakt Konsortialführer:	Tel.: +49 711-6862-540 Email: juergen.weimer@dlr.de
Laufzeit des Vorhabens: von: 1.7.2022 bis: 30.9.2025	
Datum Bericht: 31.12.2025	

Inhalt

1.	Kurzdarstellung.....	3
1.1.	Aufgabenstellung	3
1.2.	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde.....	3
1.3.	Planung und Ablauf des Vorhabens	3
1.4.	Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	4
	Stand infrastrukturbasierte Automatisierung und Perzeption	4
	Technologien für Infrastruktursensorik.....	5
	Intelligente Verkehrssysteme (IVS)	5
	Sicherheitskonzepte	6
	Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden.....	7
	Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	7
1.5.	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	8
2.	Eingehende Darstellung	9
2.1.	Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	9
2.2.	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	12
2.3.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	13
2.4.	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans.....	14
2.5.	Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen.....	17
2.6.	Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 der Nebenbestimmungen.....	17

1. Kurzdarstellung

1.1. Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes MAD Urban sollte die Machbarkeit der neuartigen infrastrukturbasierte Fahrzeugautomatisierung MAD (Managed Automated Driving) aufgezeigt werden. Dazu wurden insbesondere folgende Teilaufgaben bearbeitet: Neue Infrastruktur- und Backendkomponenten wurden entwickelt; Die MAD-Architektur wurde weiter definiert und darauf basierend die Softwarekomponenten entwickelt; Die MAD-Funktionen wurden in Fahrzeuge der Forschungspartner integriert und gemeinsam auf den Testfeldern der Partner getestet; Ein Sicherheitskonzept wurde erstellt und implementiert; Begleitend wurden Zulassungsfragen weiter geklärt; Abschließend wurde MAD final demonstriert.

1.2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das MAD-Konzept ist weltweit einzigartig, aus unserer Sicht hoch innovativ und damit mit entsprechenden Risiken verbunden.

Im Marktumfeld ist die Einführung des automatisierten Fahrens seit vielen Jahren immer noch nicht absehbar. Auf eine ausführlichere Diskussion an dieser Stelle wird verzichtet. Kurz: Es gibt aktuell einen gewissen Umsetzungsdruck aus der Politik, zentrale Probleme bleiben aber die Wirtschaftlichkeit und Sicherheit. Neue Akteure/StartUps scheitern regelmäßig immer wieder genau aus diesen Gründen. Viele Akteure sind in einer technischen Blase oder Anwendungsblase, geprägt durch Erfolgsmeldungen in den USA und China. MAD versucht Lösungen für die Herausforderungen Sicherheit und Wirtschaftlichkeit aufzuzeigen, die sich für ein Ausrollen in der EU eignen. Hierbei hebt sich der MAD Ansatz von bisherigen Ansätzen ab, in dem Sicherheit neu gedacht und durch großflächige Infrastrukturnutzung sichergestellt wird. Die Marktresonanz auf MAD ist grundsätzlich sehr positiv und sehr viele Akteure, die MAD kennengelernt haben, unterstützen den MAD-Ansatz. Aufgrund des Marktumfeldes sollte MAD nach dem Projektabschluss weiterentwickelt werden. MAD-Aspekte sind bereits in Folgeprojekte eingeflossen, ein zentrales MAD II Projekt ist noch offen.

1.3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Die Planung von MAD Urban erfolgte auf Basis einer Machbarkeitsstudie mit den Schwerpunkten Zulassungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit (Juni 2020). Die grundsätzliche Zulassungsfähigkeit wurde gezeigt, aktuell aber noch nicht erfolgt (AFGBV Ausfertigungsdatum: 24.06.2022 war noch nicht berücksichtigt); Die grundsätzliche Wirtschaftlichkeit bei breiter Einführung wurde nachgewiesen und ist systembedingt weiter gültig.

Der Ablauf des Vorhabens MAD Urban verlief überwiegend nach Plan, das Vorhaben wurde jedoch um 3 Monate verlängert. Einfluss hatte der späte Förderbescheid (+ca. 5 Monate) und Projektstart. Hierdurch entstanden unter anderem Probleme bei der Unterbeauftragung für das Aufstellen von Sensorsäulen im Zielgebiet Tostmannplatz. Eine Umplanung wurde durchgeführt und konnte durch die Flexibilität der beteiligten Testfelder und der Teams umgesetzt werden. Zusätzliche Tests im Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW) wurden zur Vorbereitung der MAD-Demonstration auf der EUCAD 2025 genutzt. Das Projekt wurde nach der Verlängerung erfolgreich beendet.

1.4. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

Der wissenschaftliche und technische Stand, an den angeknüpft wurde, wurde bereits in der GVB ausführlich aufgezeigt. Die folgenden Absätze sind daher eine Kopie des entsprechenden Kapitels aus der GVB:

Stand infrastrukturbasierte Automatisierung und Perzeption

Das Perzeptionssystem eines hochautomatisierten Fahrzeugs stellt die Grundlage für alle weiteren Funktionen dar. Wie abgeschlossene und aktuelle Forschungsinitiativen zeigen konnten, können automatisierte Fahrzeuge durch Infrastruktur unterstützt werden und die Sicherheit der Systeme insbesondere im urbanen Raum gesteigert werden. Frühe Ideen und Demonstrationen von infrastrukturgestützten Unterstützungsfunktionen findet sich im Projekt Ko-PER¹ wieder, in dem erste Assistenzfunktionen mit Infrastrukturunterstützung, basierend auf Kamera und LiDAR-Sensoren basierten Fusionsarchitektur in einer Forschungskreuzung gezeigt werden konnten. Im Projekt MEC-View² liegt der Fokus auf der Entwicklung von Sensorik, die ein Umgebungsmodell als Unterstützung für automatisierte Fahrzeuge aus einer Edge-Architektur in Echtzeit zur Verfügung stellen kann. Deutschlandweit werden in nationalen Testfeldern die Vernetzung von hochautomatisierten Fahrzeugen und Perzeptionslösungen mit unterschiedlichen Sensormodalitäten erforscht. Ausgewählte Testfelder sind das Testfeld Autonomes Fahren Baden-Württemberg (TAF-BW)³, das Testfeld Niedersachsen (TNS)⁴, das Testfeld Berlin⁵, Testfeld Hamburg (HEAT)⁶, das Testfeld A9 und das angegliederte Providentia++ Projekt⁷ oder das OTS Projekt⁸ zu nennen.

Zwar existieren in der Forschungslandschaft Einzelmethoden, für die Wahrnehmung, Klassifikation und Verortung Verkehrsteilnehmender in Infrastruktur, doch die Integration der Information mit fahrzeugeigener Perzeption und Lokalisierung stellt weiterhin eine große Herausforderung dar. Insbesondere wechselnde Sensormodalitäten der Infrastruktur durch verschiedene Hersteller und deren semantische Interpretation der kommunizierten Daten bringt Herausforderungen. Deren Standardisierung schreitet nur langsam voran. Erste Standards werden von der ETSI entwickelt (siehe Collaborative Perception Service, CPM)⁹, die Erprobung in verschiedenen Anwendungsfällen und deren Eignung für das Konzept Managed Automated Driving (MAD) bedarf weiterer Forschung. In der Infrastruktursensorik selbst stellen Verdeckungen durch Verkehrsteilnehmer, als auch eine effiziente Echtzeitverarbeitung weiterhin große Hürden dar, obgleich diese kleiner sind als aus Ego-Perspektive des Fahrzeugs. Des Weiteren sind bisher keine entwickelten Lösungen in einer industrialisierten, generalisierten Form verfügbar und stark auf den Anwendungsfall eingeschränkt, für den sie entwickelt wurden.

Für das automatisierte Fahren bringt der Umgang mit Infrastrukturinformation an Sichtgrenzen der Sensorik Herausforderungen, sowie die Vereinheitlichung von unterschiedlicher Information. Eine holistisch Datenfusion und Konzept, um zyklische Abhängigkeiten in diesem Netzwerk von Sensoren und Informationsquellen zu vermeiden, wurde bisher nicht entwickelt. Die Problematik sowohl Fremd- als auch Eigenlokalisierungssysteme im Fahrzeug komplett durch Infrastruktur zu ersetzen

¹ <http://ko-fas.de/41-0-Ko-PER---Kooperative-Perzeption.html>, Zugriff am 21.02.2022

² <http://www.mec-view.de/>, Zugriff am 21.02.2022

³ <https://taf-bw.de/>, Zugriff am 21.02.2022

⁴ <https://verkehrsforschung.dlr.de/de/projekte/testfeld-niedersachsen-fuer-automatisierte-und-vernetzte-mobilitaet>, Zugr. 21.02.2022

⁵ <https://www.testfeld-berlin.de/>, Zugriff am 21.02.2022

⁶ <https://www.hochbahn.de/de/projekte/das-projekt-heat>, Zugriff am 21.02.2022

⁷ <https://innovation-mobility.com/projekt-providentia/>, Zugriff am 21.02.2022

⁸ <https://www.erneuerbar-mobil.de/projekte/ots-10>, Zugriff am 21.02.2022

⁹ https://www.etsi.org/deliver/etsi_tr/103500_103599/103562/02.01.01_60/tr_103562v020101p.pdf, Zugriff am 21.02.2022

und dadurch die technischen Grenzen, Anforderungen und Einsatzgebiete des Konzepts Managed Automated Driving auszuloten, ist bisher eine offene Fragestellung.

Technologien für Infrastruktursensorik

Die anhaltende Verbreitung von Mustererkennungsverfahren auf Basis tiefer neuronaler Netzwerke führt auch im Bereich der Infrastruktursensorik dazu, dass bildgebende Systeme vermehrt zum Einsatz kommen. In vielen Fällen kommt dabei eine Kamera zum Einsatz, deren Bilddatenstrom kontinuierlich durch Faltung mit einem neuronalen Netzwerk auf das Vorhandensein von Verkehrsobjekten untersucht wird. Für deren Lokalisierung im 3D-Raum werden häufig Lidar- oder Radar-Sensoren ergänzend hinzugezogen, um digitale Zwillinge im Verkehrsraum holistisch zu detektieren und in einer digitalen Karte zu verorten, so dass sie prinzipiell in die Trajektorien-Planung und -Validierung eines autonomen Fahrzeugs einbezogen werden können. Im Verkehrstechnik-Sektor ist zudem zu beobachten, dass zur Vermessung von Objekten im Straßenverkehr auch Stereo-Kamera-Systeme zum Einsatz kommen. Exemplarisch sind hier die Kontrollsäulen im Kontext der Bundesstraßen-LKW-Maut sowie Stereo-Video-Messsysteme des italienischen Herstellers Kria zu nennen. Optische Infrastruktursensorik ist in vielen Fällen zur Bildgebung im sichtbaren und nahinfraroten Spektrum ausgelegt und wird i.d.R. unter Anwendung gepulster nahinfrarot Beleuchtung eingesetzt, um tageszeiten- und witterungs-unabhängig eine möglichst hohe Verfügbarkeit gewährleisten zu können. Darüber hinaus werden Wärmebildkameras (z.B. vom Hersteller Teledyne FLIR) erprobt, bzw. befinden sich bereits dort im Einsatz, wo die Vorteile bei der Lokalisierung von Fußgängern bereits heute die Realisierung erster Anwendungen ermöglichen, z.B. im Smart-City-Sektor. Für den Anwendungsfall MAD ist von entscheidender Bedeutung, dass Verkehrsobjekte auch im Falle partieller Verdeckungen durchgängig detektierbar sind und in digitalen Karten präzise in Echtzeit lokalisiert werden können. Hierbei ist zu beachten, dass Teilverdeckungen, wie sie z.B. beim mehrspurigen Abbiegen auf einer Kreuzung zu beobachten sind, in vielen urbanen Verkehrssituationen einen Normalfall darstellen, für dessen Handhabung die zum Einsatz kommende Infrastruktur auf sensorischer Ebene ausgelegt sein muss. Gegenwärtig existieren für solche Anwendungsfälle noch keine industriellen Lösungsansätze.

Intelligente Verkehrssysteme (IVS)

Grundsätzlich wird in der Automobilindustrie der CCAD bzw. CCAM Ansatz verfolgt (Connected Cooperated Automated Driving/Mobility). Der Fokus der Automatisierung liegt hierbei auf dem Fahrzeug und reflektiert die Sicht der Automobilindustrie, mit dem Wunsch einer möglichst hohen eigenen Wertschöpfung bei der Automatisierung. Die Funktionen beschränken sich meist auf den Austausch von Vehicle-to-Vehicle-Day 1-Informationen, insb. Statusinformationen (Cooperative Awareness Messages/CAM) oder Hinweise für Gefährdungssituationen (Decentralized Environmental Notification Message/DENM). Implementierungen dieser Nachrichten finden sich bereits in ersten Serienfahrzeugen, z.B. dem Volkswagen Golf VIII. Darüber hinaus sind auch einfache Statusinformationen aus dem Bereich der Infrastruktur im Fokus diverser Vorhaben. Hier senden Sender, sog. Road Side Units (RSU), i.d.R. an Kreuzungen beispielsweise Ampelzustände (Signal Phase and Timing/SPaT) und Kreuzungstopologien (MAP Messages) aus, so dass einzelne Fahrzeuge einerseits nicht die für sie relevante Lichtsignalanlage selbständig detektieren müssen und andererseits auch bereits früh die optimale Geschwindigkeit geplant werden kann. Das aktuellste Format der SPaT enthält hierzu auch optionale Geschwindigkeitsempfehlungen. Das Aussenden

dieser Informationen ist allerdings in Europa eher auf Testfelder¹⁰ beschränkt. Auf anderen Kontinenten ist der Ausbau weiter vorangeschritten, z.B. in New York.

Die größte Problematik liegt allerdings darin, dass die Systeme nur dann einen wirklichen Mehrwert bringen, wenn diese auch genutzt werden. Ein Ausbau der Infrastruktur lohnt sich demnach nur, wenn viele Fahrzeuge die entsprechenden Nachrichten empfangen können. Auf der anderen Seite wollen Fahrzeughersteller die Systeme nur dann einsetzen, wenn der entsprechende Service an vielen Orten angeboten wird. Dieses Henne-Ei-Problem lässt sich nur schwer lösen. Erste Durchbrüche, wie etwa die Verwendung von entsprechender ITS-G5-Kommunikationshardware in Serienfahrzeugen und insgesamt auch die Sensibilisierung, dass Daten wichtig sind und im Zweifel damit auch dem Ausrüster (also z.B. einer Stadt) gehören, hat etwas Bewegung in den Markt gebracht. Größtes Problem ist aber, dass entsprechend eingesetzte Gelder für den flächendeckenden Aufbau von Infrastrukturkommunikation zur Übertragung von einfachen Zustandsdaten keinen wirtschaftlichen Anreiz bieten, da der Mehrwert nur gering ist.

Neuere Forschungsprojekte gehen daher darüber hinaus. Hier wird bspw. infrastrukturelle Erfassung (Collective Perception) erforscht, welche es Verkehrsteilnehmern ermöglicht, die Sensorreichweite zu erhöhen. Weiterhin wurden z.B. in den Projekten EU-H2020-MAVEN und EU-H2020-TransAID aktive und individuelle Rückmeldungen der Infrastruktur an Fahrzeuge gegeben (z.B. Geschwindigkeits-, Spur- und Automationsfunktionsempfehlungen), so dass aus Infrastrukturperspektive ein optimales Verhalten der Verkehrsteilnehmer vorliegen kann. Herausforderung ist allerdings auch hier, dass es sich lediglich um Ratschläge handelt und die Fahrzeuge die Umsetzungshoheit besitzen, wodurch das Verkehrssystem auch hier entsprechende Puffer vorhalten muss, die es dadurch weniger Optimal machen. In TransAID wurde daher im Rahmen der Maneuver Coordination Message, einer weiteren Nachricht, die insb. für die V2V-Koordinierung von automatisierten Fahrmanövern vorgesehen ist, hier aber um Infrastrukturhinweise erweitert wurde, ein Rückkanal eingebaut, mit dem Fahrzeuge die exakte Ausführung der Empfehlung bestätigen oder ablehnen können. Auf diese Weise kann das Verkehrssystem schon optimaler reagieren.

Der logische nächste Schritt, der sich allerdings so noch nicht in den entsprechenden Roadmaps von bspw. C-Roads befindet, ist die technische Prüfung, ob noch weitere Komponenten (mit entsprechendem Durchführungsmandat) in die Infrastruktur ausgelagert werden können.

Bei MAD (Managed Automated Driving) ist die umfassende Erfassung des Verkehrs („Digitaler Zwilling“) und Steuerung aller automatisierten Fahrzeuge über die Infrastruktur vorgesehen. Hierdurch werden für Flottenbetreiber Geschäftsmodelle ermöglicht, die eine Einführung von Infrastrukturkomponenten entlang von Flottenrouten wirtschaftlich sinnvoll macht. Nur mit diesem ersten Schritt lassen sich Sicherheit, Effizienz und Wirtschaftlichkeit, speziell im urbanen Raum sicherstellen.

Sicherheitskonzepte

Die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen und das Vorlegen eines schlüssigen Sicherheitskonzeptes auf Systemebene ist für den Betrieb von automatisierten Fahrzeugen unbedingt erforderlich, um Gefahren für anderen Verkehrsteilnehmer abzuwenden. Dies gilt

¹⁰ <https://ec.europa.eu/transport/infrastructure/tentec/tentec-portal/map/maps.html>, Zugriff am 31.12.2025.

insbesondere auch für den Fall, dass Funktionen ganz oder teilweise in die Infrastruktur verlagert werden. In der hochdynamischen Entwicklung auf diesem Gebiet werden bestehende Normen zur funktionalen Sicherheit (ISO 26262 „Road vehicles – Functional Safety“ – FuSa), zur Sicherheit der intendierten Funktionalität (ISO/PAS 21448, "Safety of the Intended Functionality" – SOTIF) oder zu den Prozessen zur Evaluierung der Sicherheit autonomer Produkte (ANSI/UL 4600 -- Standard Evaluation of Autonomous Products) ständig fortgeschrieben und um neue Erkenntnisse erweitert.

Aktuell und in der jüngeren Vergangenheit wurde der Aspekt der Absicherung in verschiedenen Förderprojekten untersucht. Das Projekt „Verifikations- und Validierungsmethoden automatisierter Fahrzeuge Level 4 und 5“ (kurz: VVMethoden) setzt sich mit der Entwicklung, der Verifikation und mit der Validierung von Methoden und Prozessen für das Testen von automatisierten und autonomen Fahrzeugen zur Homologation im Szenario einer urbanen Kreuzung auseinander. Das Vorhaben „KI-Absicherung“ beschäftigt sich mit der sichereren Gestaltung von KI-Anwendungen im Bereich des Automatisierten / Autonomen Fahrens. Ein zentraler Punkt ist dabei die Identifizierung und Weiterentwicklung von Methoden zur Überwachung von Training, Test und Validierung von KI-basierten Perzeptionsmethoden. Der Hauptfokus der Projekte Providentia und dessen Nachfolger Providentia++ liegt auf der Erstellung eines digitalen Zwillings eines Autobahnabschnittes (Providentia) und angeschlossenen urbanen Raum (Providentia++), um darauf basierend Mehrwehrtedienste für Fahrer, Autobahnbetreiber, Fahrzeughersteller und die Wissenschaft erstellen zu können. Das Ziel des Projektes SafeADArchitect ist die Entwicklung neuer Konzepte und Ansätze, um die Sicherheit automatisierter Fahrzeuge in urbanen Umgebungen zu verbessern. Hierzu werden neue Methoden betrachtet, die eine dauerhafte und kontinuierliche Überwachung und Überprüfung von Risiken ermöglichen.

Der in diesem Projekt verfolgte MAD Ansatz geht deutlich über heutige Forschungs- und Entwicklungsprojekte im Bereich des automatisierten Fahrens hinaus. Die dort untersuchten und entstehenden auf die Fahrzeuge zentrierten Arbeiten zur Erhöhung und Gewährleistung der Sicherheit sollten sich zwar auf MAD übertragen lassen, jedoch stellen die veränderten Rahmenbedingungen zusätzliche und neuartige Anforderungen, die in bisherigen Lösungen noch nicht berücksichtigt werden. Da Intel in laufenden Aktivitäten der nationalen und europäischen Forschungs- und Innovationspolitik insbesondere auch im dem Themenfeld Sicherheit und Zuverlässigkeit in Bezug auf automatisiertes Fahren involviert ist, kann an das dort gewonnene Knowhow in diesem Projekt direkt angeknüpft werden und ein Innovationshub gegenüber dem Stand der Wissenschaft und Technik erzielt werden.

Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Die Durchführung des Vorhabens basiert auf umfassenden Vorprojekten oder Eigenentwicklungen der jeweiligen Partner und ist durch entsprechende IP geschützt.

Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Nicht relevant für ein Projekt der vorliegenden Größe. (Aufwand für Dokumentation bei ca. 50 Projektbeteiligten Personen nicht sinnvoll).

1.5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Im Rahmen von dem Projekt MAD Urban ist eine entsprechende Zusammenarbeit mit unabhängigen Dritten erfolgt. Das automatisierte Fahren wird in verschiedenen Gremien und Fachverbänden sowohl national als auch international intensiv diskutiert. Vertreter des MAD-Projektteams konnten den MAD-Gedanken auf einer größeren Anzahl von Veranstaltungen (z.B. Workshops) einbringen und diskutieren. Diese Aktivitäten waren auch Teil des Verwertungsplans. Beispiele sind:

- Regelmäßiger Austausch im Rahmen des Netzwerkes „Intelligent Move“ der Landesregierung BW, insbesondere in der Arbeitsgruppe Infrastrukturgestützter ÖPNV (== Teil MAD), Teilnahme und Vorträge DLR und FZI
- Regelmäßiger Austausch im Rahmen des CCAM PPP auf Europäischer Ebene. Teilnahme und Vorträge DLR und FZI. Julian Schindler wurde bei CCAM zum Clusterleiter gewählt: *Cluster 4 “Integrating CCAM in the Transport System”*. Dort sind auch alle Aktivitäten zur PDI (Physical and Digital Infrastructure) verankert.
- Regelmäßiger Austausch über das Kotam Projekt (Vernetzung / Zusammenarbeit der Testfelder). MAD Urban war ein Beispielprojekt in dem die Testfelder TFN und TAF-BW intensiv zusammengearbeitet haben.
- Austausch mit dem BVST Bundesverband Verkehrssicherheitstechnik in der technikbasierten Verkehrssicherheitsbranche insbesondere durch Industriepartner Vitronic, Balluff
- Austausch mit dem Joint Research Center (JRC) der Europäischen Kommission und Ausgewählten Projektleitern von Europäischen Forschungsprojekten im Kontext CCAM (DLR, FZI). Anschließende Demonstration der Projektergebnisse auf EUCAD 2025 Konferenz im europäischen Ökosystem für vernetztes Automatisiertes Fahren (EUCAD 2025, CCAM).
- Invited Keynote Tobias Fleck (FZI) im „5th Workshop on Data Driven Intelligent Vehicle Applications (DDIVA)“ auf der Konferenz IEEE Intelligent Vehicle Symposium, 2024: Vorstellung und Diskussion MAD-Konzept mit international anerkannten Experten für Vernetztes Automatisiertes Fahren.

2. Eingehende Darstellung

2.1. Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

In den folgenden Tabellen werden die erzielten Ergebnisse entsprechend der Projektplanung GVB bzw. TVB. Aufgelistet:

Tabelle 2.1: Verwendung Teilvorhaben Konsortialführer „Planning and Control“

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Infrastruktur im Testfeld Niedersachsen für MAD befähigt	Mitverwertung im Testfeld	Säulen aufgebaut und MAD integriert. Weiternutzung in Testfeld
MAD in den Forschungsfahrzeugen von DLR-TS umgesetzt	Mitverwertung in den Forschungsfahrzeugen	Stackanpassung erfolgt. MAD grundsätzlich in allen Fzg. möglich.
Architekturdefinition und Schnittstellen für MAD	- Weitere Forschungsprojekte - „Whitepaper“ veröffentlicht	z.B. Projekt ImoGer nutzt auch MAD; Architekturdokument auf Website
MAD in U-Shift Driveboard DLR-FK umgesetzt	Weitere Forschungsprojekte	Weiterentwicklung MAD in Driveboard u.a. in Projekt ImoGer

Tabelle 2.2: Verwendung Teilvorhaben 01ME22001F (FZI)

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Definition und Erarbeitung einer Systemarchitektur für infrastrukturgestützte Verkehrssysteme mit Fokus auf Perzeption und Kommunikation.	Konzeptionsarbeiten für das MAD Gesamtkonzept	Architekturdokument, sowie Mitwirkung an drei Publikationen zur Präsentation der MAD Architektur; Keynote IEEE IV 2024 DDIVA Workshop.
Identifikation von Anforderungen an intelligente Infrastruktur durch Betrachtung der Fahrzeug-Infrastruktur Kombination	Erstellung von Referenzszenarien in AP 1.1	Referenzszenarien, sowie deren Anforderungen für die Erprobung im Testfeld TAF-BW.
Konzeption und Entwicklung von robusten Algorithmen zur Multi-Sensor-Umgebungsperzeption	Entwicklungs- und Testarbeit	Wissenschaftliche Publikationen, Demonstrationsmedien, Dokumentations-Videos, Sensorplattform Infra2Go2 als Test- und Demonstrationsobjekt
Evaluation und Verbesserung der Interoperabilität entwickelter Infrastrukturperzeption.	Kreuzerprobung in fünf Zielumgebungen: TAF-BW (Campus Ost, Campus Ost – Ispra virtuell als System-in-the-Loop), TNS (DLR-Gelände, Tostmannplatz), JRC Campus, Ispra Italien	Erprobungsprotokolle, Messdaten, Demonstrationsmedien, Dokumentations-Videos, wissenschaftliche Publikationen.

Definition, Implementierung und Erprobung von Schnittstellen, sowie Protokollen zum Informationsaustausch zwischen automatisierten Fahrzeugen und intelligenter Infrastruktur.	Entwicklungs- und Testarbeit	ASN1-Defintiion; Definition von Middlewareschnittstellen; sowie deren Software- und Hardware-Implementierung
Aufbau von Kompetenzen im Bereich infrastrukturgestütztes automatisiertes Fahren durch Partizipation von Studierenden und Doktoranden	Erarbeitung von wissenschaftlichen Publikationen; Durchführung von Masterarbeiten, Seminaren, Praktika, sowie Präsentation/Diskussion mit der internationalen Forschungs-Community; Teilaspekte von Dissertationen der beteiligten Forscher	Beteiligung an ≥ 7 Publikationen; Einbringen der gesammelten Expertise in Vorlesungen/Lehrveranstaltungen am KIT: <ul style="list-style-type: none"> - VL Autonomes Fahren - Praktikum Autonomes Fahren Aufgebaute Expertise: <ul style="list-style-type: none"> - Expertise im Bereich V2X - Expertise im Bereich Sensordatenfusion - Expertise im Bereich Trajektorien-Regelung - Expertise im Bereich Projektplanung - Bindung von Expertise durch Einstellung eines neuen Mitarbeiters als Folgeaktivität einer durchgeführten Masterarbeit. Somit langfristige Bindung der aufgebauten Expertise.

Tabelle 2.3: Verwendung Teilvorhaben 01ME22001C (GFT)

Zentraler Data-Hub (Backend) wird von einer manuellen Steuerung der MAVs durch den Remote Driving Operator zu einer automatisierten Steuerung der MAVs weiterentwickelt	Entwicklung des Data-Hubs	Zentraler Data-Hub konzipiert und entwickelt. MAVs können über den MQTT Broker gesteuert werden.
Dezentrale Data-Hubs in den EPUs (Edge Processing Units) werden von einer manuellen Steuerung des MAV's durch den Remote Driving Operator zu einer automatisierten Steuerung des MAV's über die EPU weiterentwickelt. Für die Erreichung dieses Ziels wird parallel die manuelle Steuerung des MAV's weiterentwickelt.	Entwicklung des Data-Hubs	Dezentrale Data-Hubs konzipiert, entwickelt und auf einer EPU installiert. Steuerung wird nun an den entsprechenden MQTT Broker geleitet, an dem sich das Fahrzeug befindet. Automatisierte Steuerung wurde vom DLR entwickelt.
Skalierung des Data-Hub auf MAV (Managed Automated	Entwicklung des Data-Hubs und MOC	Es wurden Algorithmen zur effizienten Verarbeitung der

Vehicle)-Flotten und wachsende Anzahl an Systembenutzer und Anwender (Mandantenfähigkeit)		Daten entwickelt. Dies ermöglicht eine bessere Skalierung des Systems. Die Funktionalitäten wurden dementsprechend weiterentwickelt, sodass mehrere Benutzer/Mandanten das System nutzen können.
Remote Control Frontend (RCF) wird zu einer Leitzentrale für Monitoring & Control ausgebaut. Leitzentrale übernimmt nicht nur die manuelle Steuerung des MAV's, sondern ist auch für die Überwachung (Monitoring) und für notwendige Eingriffe in die automatisierte Steuerung des MAV's zuständig	Entwicklung des Data-Hubs und MOC	Die Überwachung erfolgt über das MAD Operation Center. Darüber können Statusinformationen des Fahrzeugs überwacht werden. Außerdem können Operatoren Signale an das Fahrzeug schicken, um dem Fahrzeug aus unübersichtlichen Situationen zu helfen.
Data Hub (zentral, dezentral) und die Leitzentrale für Monitoring & Control kann über offene, standardisierte Schnittstellen an Systeme am Markt integriert werden.	Entwicklung des Data-Hubs und MOC	Die definierten Schnittstellen zur Kommunikation ermöglichen es, weitere Systeme an das Data-Hub anzubinden.
GFT Demonstrator auf Buga 2023 - Demo Leitzentrale und Data Hub - Direktsteuerung Modell über „Sitzkiste	Entwicklung eines frühen Demonstrators	Leitzentrale und Steuerung wurden bei der Bundesgartenschau ausgestellt und vorgestellt.

Tabelle 2.4: Verwendung Teilvorhaben (Intel)

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Sicherheitskonzept für MAD	Konzepterstellung und SW-Entwicklung des Sicherheitslayers. Simulation des Systems und Integration bei Projektpartnern	Sicherheitslayer in Anwendung im MAD Stack

Tabelle 2.5: Verwendung Teilvorhaben (Vitronic)

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Neue ITS Verkehrssäule für MAD - Sensorsystem	Entwicklung, Bau und Integration neuer Sens Säulen. Kern des Systems sind von VITRONIC und Balluff entwickelte Stereo-Sensoren, die auf sogenannten ITS-Verkehrssäulen montiert sind. Sie erfassen und	Zwei Sens Säulen wurden für MAD fest im TFN installiert. Weitere Säulen/Säulenkomponenten stehen für Demozwecke zur Verfügung.

	klassifizieren alle Verkehrsteilnehmenden – Fußgänger, Radfahrer, Fahrzeuge – hochauflösend und in Echtzeit.	
--	--	--

Tabelle 2.6: Verwendung Teilvorhaben (Balluff)

Geplantes Ergebnis	Verwendung der Zuwendung	Erzieltes Ergebnis
Neuer Stereosensor für MAD	Entwicklung des neuen Stereosensors und Integration der Komponenten bei Vitronic. Die Sensoren erzeugen ein präzises digitales Abbild des Verkehrsgeschehens, das automatisierte Fahrzeuge in Echtzeit nutzen können – bei Latenzen von unter 150 Millisekunden.	Mehrere Sensorsysteme durch Partner in TFN verbaut. Mustersensoren für die weitere Markteinführung verfügbar

2.2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Tabelle 2.7: zahlenmäßiger Nachweis Teilvorhaben Konsortialführer

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
1	Personalkosten	Wie geplant
2	FE-Fremdleistungen	Kleinere Änderungen im projektüblichen Rahmen
3	sonstige Vorhabenkosten, Abschreibungen etc.	Kleinere Änderungen im projektüblichen Rahmen

Tabelle 2.8: zahlenmäßiger Nachweis Teilvorhaben 01ME22001F (FZI)

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
		Siehe Erfolgskontrollbericht Teilvorhaben 01ME22001F

Tabelle 2.9: zahlenmäßiger Nachweis Teilvorhaben 01ME22001C (GFT)

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
0837	Personalkosten	Wie geplant.
0850	sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	Spedition und mobiles Internet für die Bundesgartenschau wurden nicht benötigt.
0856	Kosten innerbetrieblicher Leistung	Sind nicht angefallen, da keine Mitarbeiter der GFT für die tägliche Betreuung des Stands bei der Bundesgartenschau benötigt wurden.

Tabelle 2.10: zahlenmäßiger Nachweis Teilvorhaben (Intel)

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung

		Siehe Erfolgskontrollbericht Teilvorhaben
--	--	---

Tabelle 2.11: zahlenmäßiger Nachweis Teilvorhaben (Vitronic)

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
		Siehe Erfolgskontrollbericht Teilvorhaben

Tabelle 2.12: zahlenmäßiger Nachweis Teilvorhaben (Balluff)

Position	Benennung im Antrag (AZK/AZA)	Verwendung
		Siehe Erfolgskontrollbericht Teilvorhaben

2.3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Für alle Teilvorhaben gilt:

Der im Projekt adressierte infrastrukturgestützte Ansatz zur Steuerung automatisierter Fahrzeuge besaß vor Durchführung des Forschungsprojekts ein hohes Risiko in der Umsetzung zu scheitern. Die hohen Initialinvestitionen und die grundlegenden strukturellen Unterschiede zu konventionellen Ansätzen des automatisierten Fahrens machten die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten schwer kalkulierbar. Ohne die geleistete Arbeit hätte das MAD-Konzept nicht vollumfänglich validiert werden können. Durch die Förderung konnte die grundsätzliche Machbarkeit von MAD mehrfach demonstriert werden. Dies ist Grundlage für weitere Entwicklungen mit Steigerung des TRLs. Die ZE sind davon überzeugt, dass MAD grundsätzlich für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb von automatisierten Fahrzeugen im urbanen Raum notwendig ist.

Teilvorhaben: Planning and Control 01ME22001A

Die Aktivitäten zu „Planning and Control“ sind ein zentraler Baustein im MAD Urban Projekt. Hier werden u.a. die MAD-Architektur definiert, implementiert und in den Testfeldern des Projektes getestet und demonstriert. Hier laufen viele Teilentwicklungen innerhalb des Projektes zusammen. Der Aufwand war notwendig um zum einen die vorhandene DLR Automatisierungstechnologie um die MAD-Funktionalität zu erweitern und zusammen mit Partnern die Voraussetzungen in einer Test-Infrastruktur zu schaffen und trägt damit wesentlich zum übergeordneten Hauptziel des Machbarkeitsnachweises von MAD bei.

Die Projektleitung ist ebenfalls über dieses Teilvorhaben finanziert. (Siehe Absatz „alle Teilvorhaben“)

Teilvorhaben: Data-Hub und Leitstand 01ME22001C (GFT)

Das entwickelte Data-Hub bildet die unverzichtbare Datendrehscheibe zwischen allen Systemkomponenten (EPU, MAVs, RCUs) und ermöglicht erst die bidirektionale Echtzeitkommunikation sowie die Anbindung der Verkehrsinfrastruktur. Das MAD Operation Center wäre ohne die Data-Hub-Infrastruktur nicht operabel, da es auf der Orchestrierung und Bereitstellung dieser Daten basiert und somit keine Überwachung und Unterstützung durch die technische Assistenz möglich wäre.

Teilvorhaben: Kollaborative Echtzeitwahrnehmung und Lokalisierung für Infrastrukturgestütztes Automatisiertes Fahren 01ME22001F (FZI)

Die entwickelten Konzepte, Verfahren, Methoden, Kommunikationsprotokolle und Software- und Hardware-Komponenten wurden im Projekt direkt für verschiedenste Aspekte des Nachweises der Machbarkeit des MAD-Konzepts verwendet. Damit zählt das Teilvorhaben direkt auf das übergeordnete Hauptziel des Gesamtprojekts ein. Die experimentelle Natur der Konzepte, Verfahren, Methoden, Kommunikationsprotokollen und Software- bzw. Hardware-Komponenten machen eine Förderung obligatorisch: ohne Förderung wäre eine Durchführung des Nachweises nicht möglich. Der Nachweis für Kollaborative Perzeption, Kollaborative Lokalisierung, sowie Kollaborative Trajektorien-Regelung wurde im Projekt erbracht. Relevante Ergebnisse wurden in wissenschaftlichen Publikationen der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.

Teilvorhaben: Perception/Localisation und Road Capturing Units (RCU) 01ME22001E (Vitronic)

In Kooperation mit **Teilvorhaben: Edge-Computing-Stereo-Video-Sensor 01ME22001D (Balluff MV)**

Für MAD ist die Sensorik in der Infrastruktur ein wesentlicher Bestandteil als Schlüssel zur Machbarkeit. Für die MAD- Entwicklung, die Integration und den Test wurden zwei Sensorsäulen im Testfeld Niedersachsen realisiert. Dazu wurden u.A. die von VITRONIC und Balluff entwickelte Stereo-Sensoren auf sogenannten ITS-Verkehrssäulen montiert. Sie erfassen und klassifizieren alle Verkehrsteilnehmenden – Fußgänger, Radfahrer, Fahrzeuge – hochauflösend und in Echtzeit. Die im Projekt entwickelte Sensorik schafft erstmals die Grundlage dafür, dass automatisierte Fahrzeuge sicher von der Infrastruktur unterstützt werden können. Das neue noch zu industrialisierende Produkt ist hoch genau, zuverlässig, energieeffizient und datenschutzkonform. Die Sensoren erzeugen ein präzises digitales Abbild des Verkehrsgeschehens, das automatisierte Fahrzeuge in Echtzeit nutzen können – bei Latenzen von unter 150 Millisekunden. Ohne die Förderung hätte dieses Neuprodukt nicht entwickelt werden können. Die Sensortechnologie war ebenso wesentliche Voraussetzung für den Nachweis der Machbarkeit von MAD.

2.4. Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Tabelle 2.13: Verwertung Teilvorhaben Konsortialführer

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Infrastruktur im Testfeld Niedersachsen für MAD befähigt	Mitverwertung im Testfeld Niedersachsen erfolgt. Die MAD Sensorsäulen wurde am Tostmannplatz installiert und MAD mit dieser Infrastruktur getestet. Die Infrastruktur kann und soll in Folgeprojekten und für die Weiterentwicklung genutzt werden. Sie soll auch für Tests von Industriepartnern genutzt werden die MAD-Schnittstellen integrieren.
MAD in den Forschungsfahrzeugen von DLR-TS umgesetzt	Die DLR-Forschungsfahrzeuge wurden mit einer neuen MAD-Automatisierungssoftware (Stack) ausgerüstet. Die Fahrzeuge können auf beiden beteiligten Testfeldern fahren und sollen für die Weiterentwicklung genutzt werden.

Architekturdefinition und Schnittstellen für MAD	Die MAD-Architektur wurde während der Laufzeit des Projektes gemeinsam mit allen Projektpartnern kontinuierlich weiterentwickelt und dokumentiert. Die veröffentlichten Versionen („Whitepaper“) dienen dazu das MAD-Konzept auch für Dritte zugänglich zu machen und als Basis für Folgeprojekte und Standardisierungsaktivitäten der Partner.
MAD in U-Shift Driveboard DLR-FK umgesetzt	Das automatisierte U-Shift Fahrzeug ist ein wesentlicher Baustein des Projektes ImoGer in dem die breitere Anwendung von automatisieren Verkehr in Wohngebieten dargestellt wird. In Teilanwendungen wird dort auch MAD als Plattform eingesetzt und angepasst. Die implementieren MAD Schnittstellen sind auch für weitere Projekte und eine ggf. Industrialisierung vorgesehen.

Tabelle 2.14: Verwertung Teilvorhaben 01ME22001C

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Data-Hub-Infrastruktur auf Basis der SPHINX OPEN Plattform	Grundlage für marktfähiges Produkt im Bereich automatisiertes Fahren. Integration in bestehende IIoT-Plattform ermöglicht neue Vertriebsmöglichkeiten und Upselling-Potenziale bei Mobilitäts- und Logistikorganisationen. Produktentwurf geplant bis 06/2026.
Edge-Backend-Architektur mit MQTT-Broker-Topologie	Skalierbare und erweiterbare Kommunikationsinfrastruktur für EPU's, MAVs, RCU's und MOC. Ermöglicht echtzeitfähige Datenverarbeitung und zentrale Überwachung. Technologische Basis für zukünftige MAD-Projekte und Anwendungen.
MAD Operation Center (MOC) - Leitzentrale für Monitoring & Control	Zentrale Komponente für Flottenmanagement und Überwachung automatisierter Fahrzeuge. Direkte Verwertung in Kundenprojekten und als Bestandteil des SPHINX OPEN Produktportfolios. Stärkung der Unternehmensposition im Bereich automatisiertes/autonomes Fahren.
WebRTC-basiertes Video-Streaming für Teleoperation	Ermöglicht Remote Operation und Remote Assistance mit geringer Latenz. Integration als Microfrontend-Plugin in SPHINX OPEN erhöht Produktwert.
Demonstration BuGa 2023 Mannheim und EUCAD Ispra	Nachweis der Funktionsfähigkeit und Praxistauglichkeit. Stärkung der Unternehmensposition und Sichtbarkeit im Markt. Akquisition neuer Kunden und Projektpartner.
Know-how-Aufbau im Bereich automatisiertes/autonomes Fahren	Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern in Zukunftsthemen. Technologische Expertise als Wettbewerbsvorteil.
Offene, standardisierte Schnittstellen	Interoperabilität mit Systemen am Markt. Erleichtert Integration in bestehende Infrastrukturen und Kundensysteme. Erhöht Marktakzeptanz und Verwertungspotenzial.
Prototypische Gesamtlösung Data Hub und Leitstand	Bewertungsgrundlage für Produktentwicklung. Entwicklung eines marktfähigen Produkts bis 2030.

	Langfristige Verwertung als Teil des SPHINX OPEN Portfolios mit Fokus auf MAD-Anwendungen.
--	--

Tabelle 15 Verwertung Teilvorhaben 01ME22001F

Projektergebnis/ Inhalt	Nutzen/ Verwertung
Aufbau einer mobilen Versuchsplattform (Infra2Go2) für die flexible Erprobung Infrastrukturgestützter autonomer Fahrfunktionen.	Verwertung als Testplattform in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation einer Trajektorien-Regelung, die extern berechnete Trajektorien im FZI Versuchsfahrzeug CoCar NextGen einem Versuchsträger des FZI umsetzen kann.	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation eines Datenfusionsverfahrens zur Fahrzeug Ego-Lokalisierung basierend auf einem GNSS, IMU Sensor, sowie Objektlisten aus Verkehrsinfrastruktur	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Definition/Erweiterung/Implementierung und Evaluation von V2X Nachrichten zum Datenaustausch zwischen Fahrzeug und Verkehrsinfrastruktur: Objektlisten (CPM), Fahrzeug-Eigenzustand (CAM), Fahrzeugtrajektorien und Metainformation (EPU2Vehicle) gemeinsam mit den Projektpartnern.	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation eines Verfahrens zur Erzeugung von Ground Truth Objektlistendaten aus Verkehrskameras	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation eines Verfahrens zur Fusion von Objektdetektionen aus Kameras und LiDAR Daten in Verkehrsinfrastruktur.	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation eines Verfahrens zur hochgenauen Kalibrierung von Sensoren in der Verkehrsinfrastruktur bezüglich eines georeferenzierten Weltkoordinatensystems auf Basis eines RTK-GNSS-Referenzsystems	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation von zwei Multi-Objekttracking Algorithmen zur Verfolgung von Objektdetektionen (Kamera oder LiDAR + Kamera) auf Basis eines Corner-Point-Switching Ansatzes.	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Konzeption, Implementierung und Evaluation eines Verfahrens zur Sensordatenfusion von Fahrzeug-Umgebungsmodell und Infrastruktur-Perzeptionsdaten	Verwertung in zukünftigen Forschungsprojekten (Förderprojekte/Industrieprojekte/Lehrprojekte).
Ergebnismaterial (Bilder, Videos, Banner, Foliensätze, ...)	Verwertung zur Partnerakquise für Folgeprojekte, Außendarstellung. Insbesondere

	Einsatz im FZI House-of-Living-Labs (HoLL) als Dauerdemonstratoren und/oder in universitären Lehrveranstaltungen.
--	---

2.5. Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Für alle Teilvorhaben gilt: MAD ist als infrastrukturbasierte Automatisierungslösung für Fahrzeuge weltweit einzigartig. Dem ZE sind daher kein Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen bekannt gewordenen. Im Rahmen der Verwertung wurde allerdings weltweit entsprechendes Interesse erzeugt.

Die Beschreibung des allgemeinen Fortschritts im übergeordneten Bereich des fahrzeugbasierten automatisierten Fahrens würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Hier wird auf die bekannten Quellen der Bundesministerien, Europäischen Kommission, nationale und internationale Verbände, etc. verwiesen.

2.6. Erfolgte oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses nach Nr. 11 der Nebenbestimmungen

Die Veröffentlichungen betreffen i.A. alle Teilvorhaben und wurden i.A. federführend durch die beteiligten Forschungseinrichtungen erstellt.

Ein Teil der Veröffentlichungen ist in einer elektronischen Bibliothek des DLR¹¹ eingepflegt, über die die überwiegend lizenzfreien Dokumente abrufbar sind:

Veröffentlichungen elib:

Schindler, Julian and Dariani, Reza and Klein, Philipp and Lee, Albert and Fleck, Tobias (2024) Automated Vehicles Controlled by Smart Infrastructure - the Architecture of Managed Automated Driving (MAD). In: 30th ITS World Congress, pp. 1210-1220. 30th ITS World Congress, 2024-09-16 - 2024-09-20, Dubai, UAE.

Leich, Andreas and Lüdtko, Richard and Wodtke, Axel and Knake-Langhorst, Sascha and Scherer, Frank and Hesse, Martin (2023) Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf die Fahrzeugsicherheit. In: VDI Wissensforum, 2426, pp. 285-302. Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf die Fahrzeugsicherheit. 14. VDI Tagung Fahrzeugsicherheit, 2023-11-08 - 2023-11-09, Berlin. ISBN 978-3-18-092426-7. ISSN 0083-5560.

¹¹ [electronic library - Title/Abstract/Authors/Date matches "Managed Automated Driving"](#), Zugriff am 31.12.2025.

Khan, Mohammad (2023) Assessing the Feasibility of Wireless Networks for Managed Automated Driving (MAD): A Spotlight on Communication Technology. Master's, Technische Hochschule Deggendorf.

Schindler, Julian and Klein, Philipp and Fleck, Tobias and Lee, Albert (2023) Managed Automated Driving (MAD) - a Concept for Empowering Road Infrastructure. In: 2023 ITS European Congress Book of Abstracts, pp. 933-944. 15th ITS European Congress, 2023-05-22 - 2023-05-24, Lissabon, Portugal.

Weimer, Jürgen and Ulrich, Christian and Conzelmann, Marcus and Fleck, Tobias and Zofka, Marc René and Grünhäuser, Miriam (2021) Managed automated driving: a new way for safe and economic automation. 27th ITS World Congress, 2021-10-11 - 2021-10-15, Hamburg, Deutschland.

Weitere Veröffentlichungen:

M. Gontscharow, S. Orf, A. Schotschneider, T. Fleck and J. M. Zöllner, "Towards Intelligent Control Centers: Case-Based Reasoning for Waypoint Assistance," 2025 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), Cluj-Napoca, Romania, 2025, pp. 1048-1055, doi: 10.1109/IV64158.2025.11097517.

T. Fleck, M. Zipfl and J. M. Zöllner, "Semi-Automatic Ground Truth Trajectory Estimation and Smoothing using Roadside Cameras," 2023 IEEE 26th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), Bilbao, Spain, 2023, pp. 4577-4583, doi: 10.1109/ITSC57777.2023.10422115.

T. Fleck *et al.*, "Sensor Fusion for Collaborative Mobile Agent Localization using Stationary Roadside Perception Sensors," 2025 IEEE International Conference on Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems (MFI), College Station, TX, USA, 2025, pp. 1-8, doi: 10.1109/MFI67357.2025.11259185.

Aktuell unter Begutachtung (eingereicht):

Marko Mizdrak, Giovanni Lucente, Sanath Konthala, Mikkil Skov Maarsso, Clarissa Böker, Julian Burger, Marc Heinrich, Albert Lee, Jens Doll, Sven Ochs, Tobias Fleck, Julian Schindler, "MAD Urban: Real-World Cooperative Vehicle - Intersection System Deployment at a Signalized Urban Intersection", 2026 IEEE Intelligent Vehicle Symposium, IV, Detroit, USA.