

## Bike2CAV

Entwicklung und Validierung von Methoden zur Kollisionsvermeidung von RadfahrerInnen durch Fahrzeug-zu-X-Kommunikation

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - 14. Ausschreibung (2019) Batterie	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.09.2020	<b>Projektende</b>	30.04.2023
<b>Zeitraum</b>	2020 - 2023	<b>Projektlaufzeit</b>	32 Monate
<b>Keywords</b>	Autonomes Fahren; Vulnerable Road Users; Kooperative Detektion von Kollisionsrisiken		

### Projektbeschreibung

Das Road Safety Policy Framework 2021-2030 der Europäischen Kommission verfolgt eine Reduktion der getöteten bzw. schwer verletzten Personen im Straßenverkehr bis 2030 um 50%. Laut EU-Verkehrsunfallstatistik 2018 gehen die Unfallzahlen nur leicht zurück, wodurch der Zielwert 2020 (50% Reduktion zw. 2011 und 2020) nicht erreicht wurde und dringender Handlungsbedarf besteht. 47% der getöteten Personen im Straßenverkehr im Jahr 2018 waren lt. European Road Safety Council (ETSC) FußgängerInnen, RadfahrerInnen oder MotorradfahrerInnen. Bei 83% der getöteten RadfahrerInnen ist die Ursache auf eine Kollision mit einem motorisierten Fahrzeug zurückzuführen. Aktuelle Studien gehen davon aus, dass die Einführung von vernetzten und automatisierten Fahrzeugen (Connected and Automated Vehicles – CAVs) wesentliche Auswirkungen auf verletzbare VerkehrsteilnehmerInnen (Vulnerable Road Users – VRUs) haben wird, obwohl die tatsächlichen Effekte offen sind. In der bisherigen Forschung steht die Vermeidung von Kollisionen durch Umfeldwahrnehmung bzw. Assistenzfunktionen (z.B. Notbremsassistent) im Vordergrund, wobei die Erkennungsraten mit max. 90% bei guten Bedingungen noch weit unter den Anforderungen liegen. Technologische Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugkommunikation (ITS-G5, C-V2X) schaffen die Grundlagen für kooperative Lösungsansätze zur Detektion und Vermeidung von Kollisionsrisiken, in denen verletzbare VerkehrsteilnehmerInnen nicht nur erkannt, sondern aktiv in die Kollisionsvermeidung mit einbezogen werden. Methoden zur kooperativen Detektion von Kollisionsrisiken von VRUs wurden bisher nur anhand von Simulationen untersucht, es fehlen Proof-of-Concept-Prototypen für die Validierung auf Basis von Realdaten.

Bike2CAV hat sich zum Ziel gesetzt, diese Lücke mit einem integrierten Proof-of-Concept-Prototypen zur kooperativen Detektion von Kollisionsrisiken von RadfahrerInnen sowie mit der Entwicklung und Evaluierung von nicht-ablenkenden Warnkonzepten zu schließen. Erstmals wird dabei ein Proof-of-Concept-Prototyp (TRL 4) auf Basis der kommenden ETSI Service Spezifikation TS 103 300 für VRUs umgesetzt und in kontrollierten Experimenten mit Realdaten evaluiert. Der Proof-of-Concept-Prototyp kombiniert dabei in einzigartiger Weise Near-Infrared (NIR)-unterstützte visuelle Umfeldwahrnehmung (durch CAVs, Road Side Units - RSUs), Sensor-gestützte präzise Eigenlokalisierung und Umfeldwahrnehmung des Fahrrads, Erkennung von Fahrintentionen durch IMU- und Bild-basiertes Motion Tracking (z.B. geplantes Abbiegen), C-ITS-basierte Kommunikation von Eigenlokalisierungen bzw. Wahrnehmungen zwischen Fahrrädern/CAVs und RSUs, Algorithmen zur

kooperativen Kollisionserkennung sowie RadfahrerInnen-zentrierte, nicht-ablenkende Warnkonzepte (visuell, akustisch, haptisch). Zur Validierung in risikoreichen Verkehrssituationen für RadfahrerInnen (Longitudinales Kollisionsrisiko auf Landstraßen, Kollisionsrisiken beim Queren- bzw. Linksabbiegen an Verkehrsknoten) setzt das Projekt auf ein ausgewähltes Partnerkonsortium mit Kernkompetenzen in den unterschiedlichen Themengebieten und kombiniert Forschungsergebnisse aus europäischen und österreichischen Forschungsprojekten bzw. integriert bestehende Prototypen und Forschungsinfrastruktur der Projektpartner (hochautomatisiertes, C-ITS-fähiges CAV mit Mono- bzw. Stereo-Vision, Boréal Holoscene Edge Forschungsfahrrad, hochpräzises GNSS/INS-System, 3D Motion Tracking System, zwei C-ITS-ausgestattete Teststrecken mit Umfeldwahrnehmung).

Relevante Forschungsergebnisse sind vor allem (1) in der Wahrnehmung von RadfahrerInnen durch CAVs/RSUs, (2) in der Eigenlokalisierung bzw. Umfeldwahrnehmung für Fahrräder, (3) in der Detektion von Intentionen von RadfahrerInnen, (4) in der kooperativen Detektion von Kollisionsrisiken sowie (5) in der nicht-ablenkenden Warnung vor Kollisionsrisiken zu erwarten. Die Projektergebnisse schaffen für die beteiligten Unternehmen die Grundlagen für nachfolgende experimentelle Entwicklungen von marktnahen Prototypen bzw. Produkten im Bereich von C-ITS-Diensten für Fahrradsicherheit an Verkehrsknoten sowie C-ITS-fähiges Fahrradzubehör. Bei erfolgreicher Markteinführung haben verkehrssicherheitserhöhende Produkte zur Kollisionsvermeidung das Potential, zu einer 18%igen-Reduktion volkswirtschaftlich zu tragender Kranken- bzw. Rehabilitationskosten von Fahrradunfällen beizutragen (in Österreich entspricht das zwischen 2015-2030 ca. 1 Mrd. Euro).

## **Abstract**

The Road Safety Policy Framework 2021-2030 of the European Commission envisages a 50% reduction of deadly or seriously injured persons in road traffic between 2020 and 2030. According to EU road traffic accident statistics 2018, the numbers are only slightly decreasing which caused a miss of the 2020 target (50% reduction between 2011 and 2020) and calls for urgent action. According to the European Road Safety Council (ETSC), 47% of deadly injured persons in road traffic are pedestrians, bicyclists or motorcyclists. 83% of deadly injured cyclists collided with a motorized vehicle. Recent studies argue that the advent of connected and automated vehicles (CAVs) will have significant impact on vulnerable road users (VRUs), although effects are still open. Previous research focused on the mitigation of collision risks through VRU detection and advanced driver assistance systems (e.g. emergency brake assist), although detection rates of VRUs are still not higher than 90% under good environmental conditions and therefore significantly below the requirements for automated driving. Technological developments in the field of Vehicle-to-X-communication (ITS-G5, CV2X) lay the ground for cooperative detection and mitigation of collision risks, not only focusing on the reliable detection of VRUs as passive traffic participants, but enabling them to play an active role. However, methods for cooperative detection have only been studied in simulations while proof-of-concept-prototypes with real-world data are still missing.

Bike2CAV pursues the goal of closing this gap with an integrated proof-of-concept-prototype for the cooperative detection and mitigation of collisions risks of bicyclists including non-obtrusive warning strategies. For the first time, a proof-of-concept-prototype (TRL 4) being based on the upcoming ETSI Service Specification TS 103 300 for VRUs will be evaluated using real-world data. The prototype combines in a unique way near-infrared (NRI)-assisted visual detection of bicyclists (from CAVs and road side units – RSUs), GNSS-supported precise self-localization, active detection of CAVs for bicycles, detection of bicyclists' intentions (e.g. planned turns) via IMU- and vision-based motion tracking, ITS-G5-based communication of self-localizations, intentions and external detections between CAVs, bicycles and RSUs, algorithms for cooperative collision risk detection and non-obtrusive warning concepts (visual, audible, haptic). For validating the approach in risky traffic situations for cyclists (longitudinal collision risks on country roads, collisions risks while crossing or turning left at intersections), the project trusts in a consortium of selected partners being experts in the different fields and allowing to

combine previous results from European and Austrian research projects as well as existing prototypes and research infrastructure such as an highly automated, C-ITS-enabled CAV equipped with mono- and stereo vision, Boréal Holoscene Edge research bike, precise GNSS/INS localization system, 3D IMU-based motion tracking system, two C-ITS-equipped test tracks including technologies for environmental detection. Relevant results include (1) improved detection of cyclists by CAVs/RSUs, (2) self-localization and environmental detection for bicycles, (3) cyclists' intention detection, (4) cooperative detection of collision risks and (5) non-obtrusive warning strategies communicating collisions risks to cyclists. Results lay the ground for subsequent experimental developments of near-market prototypes and products with an emphasis on C-ITS-services for bicycle safety at intersections as well as C-ITS-enabled bicycle equipment. In case of market adoption, subsequent bicycle safety-increasing products are able to contribute to a 18% reduction of macroeconomic surgery and rehabilitation costs for bicycle accidents which equals in Austria between 2015 and 2030 to appx. 1 billion euros.

## **Endberichtkurzfassung**

Bike2CAV: Weniger Kollisionen mit Radfahrenden durch kooperative intelligente Verkehrssysteme

Vernetzung und Automatisierung von Fahrzeugen bieten eine große Chance, auch die Sicherheit von Radfahrenden zu erhöhen. In Salzburg wurden erstmals drahtlose Kommunikationskanäle zwischen unterschiedlichen Fahrzeugen, Fahrrädern und der Infrastruktur unter realen Bedingungen validiert. Forschende aus Österreich und Deutschland haben eine Methode für die kooperative Erkennung von Kollisionsrisiken erprobt und Warnkonzepte für Radfahrende entwickelt.

Das multidisziplinäre Konsortium des Projekts Bike2CAV[1] hat in den letzten Jahren intensiv an mehr Sicherheit für Radfahrende mittels kooperativer Detektion von Kollisionsrisiken geforscht und die Warnung vor Kollisionsrisiken auf Basis von drahtloser Kommunikation zwischen einem automatisierten Fahrzeug (CAV), der Infrastruktur und dem Fahrrad unter realen Bedingungen an zwei Testkreuzungen im urbanen und ruralen Bereich erprobt. Für die Umsetzung eines Proof-of-Concept-Prototypen (TRL[2] 4) kamen neueste technologische Entwicklungen im Bereich der Fahrzeugkommunikation (ITS-G5), der Fahrradlokalisierung, der Umfeldwahrnehmung des CAVs (Kamera, LiDAR[3]) sowie straßenseitiger Sensorik (Kameras) zum Einsatz.

Verletzliche Verkehrsteilnehmende wie Fahrradfahrende sollen dabei nicht nur erkannt, sondern aktiv in die Kollisionsvermeidung mit einbezogen werden. Das bringt einen Mehrwert auf mehreren Ebenen: Radfahrende werden frühzeitig vor Kollisionen gewarnt, um gefährliche Situationen zu erkennen und Unfälle zu vermeiden. Vernetzte Fahrzeuge und Fahrassistenzsysteme können Radfahrende durch eine verbesserte Detektionsqualität sowie aktive Kommunikation zuverlässiger erkennen und können frühzeitig reagieren. Kommunen und Infrastrukturbetreiber erhalten objektive Bewertungen von Risikozonen an Verkehrsknotenpunkten und können diese durch gezielte Maßnahmen vorbeugend entschärfen.

Realerprobung in der Stadt und am Land

Im Forschungsprojekt wurden unterschiedliche Lösungsansätze analysiert, um geeignete und sichere Methoden auswählen zu können. Die vielversprechendsten Methoden wurden in einem kontrollierten Experiment getestet und jeweils in drei Szenarien an zwei Testkreuzungen im ruralen und urbanen Bereich erprobt.

Bei den Experimenten an den mit smarter Sensorik ausgestatteten Testkreuzungen Weiserstraße/Gabelsbergerstraße in der Stadt Salzburg und an der B158 / L226 in der Salzburger Gemeinde Koppl kamen ein vernetztes, automatisiertes Fahrzeug sowie ein neuartiges vernetztes Forschungsfahrrad zum Einsatz. Getestet wurde eine durchgängige Kette von unterschiedlichen Datenverarbeitungsmethoden von der Eigenlokalisierung und Detektion von Verkehrsteilnehmenden, über die Erkennung von Kollisionsrisiken und die Generierung und Aussendung von Warnmeldungen bis hin zur Kommunikation an Radfahrende sowie andere Verkehrsteilnehmende.

## Zentrale Forschungsergebnisse

Das Forschungsvorhaben Bike2CAV hat eindrucksvoll einen Lösungsansatz zur Bewältigung der hohen Komplexität bei der technischen Umsetzung von kooperativen Systemen gezeigt, da sehr viele Systemkomponenten aufeinander abgestimmt zusammenspielen müssen. In den definierten Schwerpunktbereichen des Projekts konnten folgende zentrale Ergebnisse gewonnen werden:

### Risikozonen für Radfahrende an Verkehrsknoten:

Den Forschenden gelang eine semiautomatisierte Ableitung von Interaktionszonen in Kreuzungsbereichen basierend auf statistischen Unfallwahrscheinlichkeiten. Eine wichtige Erkenntnis war, dass Radfahrende die Infrastruktur an der untersuchten, urbanen Kreuzung oft anders als vorgesehen verwenden. Das ist vermutlich darin begründet, dass die Planung primär den Bedürfnissen des KFZ-Verkehrs folgt und die Wege von Radfahrenden nur am Rande berücksichtigt werden.

### Smarte Fahrräder und Eigenlokalisierung aus Sicht des Fahrrads:

Eine hochgenaue Eigenlokalisierung von Radfahrenden ist zentral für eine zuverlässige Detektion von Kollisionsrisiken. Neben zwei im Holoscene Bike verbauten GNSS-Empfängern wurden auch die Genauigkeit eines Smartphones und die eines am Helm montierten hochgenauen Sensors untersucht. Das Ziel war eine weniger als 50 cm große Abweichung bei 99,9-prozentiger Zuverlässigkeit. Im städtischen Umfeld war die angestrebte Lokalisierungsgenauigkeit durch die dichte Bebauung und eine Bahn-Unterführung sehr herausfordernd. Erreicht wurden 0,5 Meter laterale Abweichung bei 95 Prozent Zuverlässigkeit in ruraler Umgebung sowie unter zwei Meter laterale Abweichung bei 95 Prozent Zuverlässigkeit in urbaner Umgebung.

### V2X-Kommunikation für Fahrräder:

Als zielführend hat sich der Ansatz herausgestellt, auch Fahrräder mit V2X-Technologie auszustatten, um automatisierten Fahrzeugen neben der passiven Erkennung über Umfeldsensorik auch eine aktive Erkennung über ITS-G5 zu ermöglichen. Für Bike2CAV wurde das sogenannte Holoscene Edge Bike von Boréal Bikes entwickelt und mit modernster Technologie für Konnektivität, Edge-Computing und Human-Machine-Interface ausgestattet. Damit konnte ein Proof-of-Concept-Prototyp im Projekt getestet werden. V2X-Fahrräder dieser Art sind bisher nicht am Markt erhältlich, ein Proof-of-Concept-Prototyp konnte jedoch im Projekt getestet werden.

### Erkennung von Radfahrenden durch die Infrastruktur und V2X-Kommunikation:

Mittels umfangreicher Sensorik sollen Radfahrende durch die Infrastruktur visuell erkannt und verfolgt werden. Dafür wurde vom Projektpartner Kapsch TrafficCom ein kamerabasiertes KI-Detektionssystem zur Erkennung und Klassifikation von

Kraftfahrzeugen und Fußgänger:innen eingesetzt, das auf die Erkennung von Radfahrenden erweitert und optimiert wurde. Zudem wurde für die V2X-Kommunikation der Entwurf des Nachrichtenformats CPM[4] für die Übertragung der Informationen von detektierten Verkehrsteilnehmenden erfolgreich getestet.

Erkennung von Radfahrenden durch Fahrzeuge:

Basierend auf Machine-Learning-Methoden wurde vom AIT – Austrian Institute of Technology eine Intentionserkennung von Radfahrenden umgesetzt und dadurch eine bessere Pfadvorhersage und Bestimmung von Kollisionsrisiken ermöglicht. Es hat sich gezeigt, dass besonders die visuelle Bestimmung der Körperhaltung und Handzeichenerkennung wichtig für eine zuverlässige Bewegungsvorhersage sind.

Warnkonzepte für Radfahrende:

Die Anforderungen an nicht-ablenkende Warnungen vor Kollisionsrisiken zwischen einem Fahrzeug und Radfahrenden wurden in einem Co-Creation-Prozess mit Lead-Usern identifiziert. Unterschiedliche Warnungsmodi – akustisch, visuell und taktile Warnsignale – wurden mittels einer Navigations-App am Smartphone, Vibration an der Lenkstange und akustischen Signalen im Helm konzipiert und getestet. Radfahrende haben vor allem auditive Warnungen als hilfreich empfunden, besonders in Situationen, in denen sich ein Fahrzeug von hinten näherte.

Realerprobung:

In allen sechs getesteten Szenarien konnten riskante Situationen mit Kollisionsrisiko nachgestellt und Kollisionswarnungen erzeugt werden. Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass Kollisionsrisiken mit dem gewählten Ansatz kooperativ erkannt werden können. Die Anbindung unterschiedlicher Datenquellen und die Verarbeitung der großen Datenmengen gestaltete sich jedoch noch sehr aufwendig. Die durchgeführten Tests waren auf prototypischer Ebene erfolgreich, für einen realen Einsatz sind noch Weiterentwicklungen bzw. Optimierungen erforderlich.

Das Kuratorium für Verkehrssicherheit hat abschließend untersucht, ob die kooperativ erkannten Situationen für die Radfahrenden tatsächlich riskant waren und ob diese effektiv vor einem Risiko gewarnt wurden. Durch diese Analyse wurde bestätigt, dass es im Feldversuch gelungen ist, eine gute Auswahl an typischen Hochrisikosituationen für Radfahrende zu generieren. In 27 der insgesamt 30 Fahrten konnte eine Warnung vor einer

## **Projektkoordinator**

- Salzburg Research Forschungsgesellschaft m.b.H.

## **Projektpartner**

- Kuratorium für Verkehrssicherheit
- AIT Austrian Institute of Technology GmbH
- Kapsch TrafficCom AG
- Universität Salzburg
- BB Boreal Bikes GmbH