

## SenseRoad\_AD

Sensing the tire-road friction for safe and comfortable adaptive automated driving functions

<b>Programm / Ausschreibung</b>	Mobilität der Zukunft, Mobilität der Zukunft, MdZ - 14. Ausschreibung (2019) Batterie	<b>Status</b>	abgeschlossen
<b>Projektstart</b>	01.01.2021	<b>Projektende</b>	29.02.2024
<b>Zeitraum</b>	2021 - 2024	<b>Projektlaufzeit</b>	38 Monate
<b>Keywords</b>	tire-road friction estimation, road condition determination, adaptive automated driving functions, tire condition, road condition, sensor fusion, time-of-flight camera, vehicle dynamics sensors, environment recognition		

### Projektbeschreibung

Serienmäßig verfügbare automatisierte Fahrfunktionen und Fahrerassistenzsysteme sind auf die Umgebungsbedingungen auf trockener Fahrbahn ausgelegt, wie z.B. die Referenzabstände zu vorausfahrenden Fahrzeugen bei Notbremsassistent oder Abstandsregeltempomat. Für Fahrfunktionen ab einem Automatisierungsgrad von SAE Level 3 übernimmt die Fahrfunktion zumindest zeitweise die Aufgabe, den Umgebungszustand zu überwachen und damit die Pflicht, die Fahrweise an die Fahrbahnbedingungen anzupassen. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es noch keine Technologie, welche den aktuellen Straßenzustand mit ausreichender Genauigkeit und Robustheit für die Anwendung in sicherheitsrelevanten automatisierten Fahrfunktionen ab einem Automatisierungsgrad von SAE Level 3 und höher ermitteln kann.

Ziel des Forschungsprojekts SenseRoad\_AD ist die Entwicklung eines Sensorfusionsansatzes zur Identifikation des aktuellen Straßenzustands. Neben den Kategorien trocken, nass, eisig und schneebedeckt ist auch eine quantitative Bewertung des Zustands durch den Reifen-Fahrbahn-Reibwert für die Anwendung in automatisierten Fahrfunktionen notwendig. Dafür wird in einem ersten Schritt eine Technologieevaluierung von dreidimensionalen Time-of-Flight Kameras durchgeführt, welche aktuell vor allem im Fahrzeuginnenraum (z.B. für Gestenerkennung verwendet wird). Vorarbeiten zeigen, dass die Reflektivität des empfangenen Signals mit gewissen Fahrbahnzuständen korreliert. In einem zweiten Schritt wird Sensorfusionsansätze entwickelt, welche in Kombination mit serienmäßiger Sensorik der Elektronischen Stabilitätskontrolle eine hohe Genauigkeit und Robustheit über weite Betriebsbereiche und Fahrsituationen ermöglichen soll. Alle entwickelten Technologien werden auf einer echtzeitfähigen Plattform integriert und in umfangreichen statischen und dynamischen Versuchen überprüft, optimiert und validiert.

Durch die Vernetzung dieser Sensoren kann situationsgerecht und schnell auf gefährliche Verkehrssituationen wie Glätte oder Schnee auf der Fahrbahn reagiert werden und dadurch eine höhere Verkehrssicherheit erreicht werden. Automatisierte Fahrfunktionen können so an schwierige Witterungsbedingungen angepasst werden und auch in diesen herausfordernden Umgebungen verwendet werden. Zusätzlich wird die Resilienz gegenüber Ausfällen von einzelnen Sensoren durch die

Sensorfusion erhöht. Zahlreiche Unfallstatistiken und Studien zeigen, dass diese Bedingungen auch für menschliche Fahrerinnen und Fahrer herausfordernd sind und werden, sofern möglich, tendenziell gemieden. Durch die Ergebnisse dieses Forschungsprojekts steigt dadurch auch die Verkehrssicherheit für menschliche Fahrerinnen und Fahrer durch situationsgerechte Warnstrategien ohne Fehlwarnungen.

## **Abstract**

Automated driving functions and driver assistance systems available in standard series-production vehicles are designed for the conditions on dry roads, e.g. concerning the calculation of the reference distances to vehicles ahead for emergency brake systems or adaptive cruise control. For driving functions with an automation level of SAE Level 3 or higher, the driving function at least temporarily takes on the task of monitoring the environmental status and thus the obligation to adapt the driving style to the road conditions. There is currently no technology that can determine the current road condition with sufficient accuracy and robustness for use in safety-related automated driving functions from an automation level of SAE Level 3 and higher.

The aim of the SenseRoad\_AD research project is to develop sensor fusion approaches to identify the current road conditions. In addition to the categories dry, wet, icy and snow-covered, a quantitative assessment of the condition using the tire-road coefficient of friction is required for use in automated driving functions. In a first step, a technology evaluation of three-dimensional time-of-flight cameras is carried out, which are currently mainly used in the vehicle interior (e.g. for gesture recognition). Preliminary work shows that the reflectivity of the received signal correlates with certain road conditions. In a second step, sensor fusion approaches are developed, which, in combination with the standard electronic stability control sensors, have the potential to enable high accuracy and robustness over wide operating areas and driving situations. All developed technologies are integrated on a real-time capable platform and are tested, optimized and validated in extensive static and dynamic tests.

With the results of the research project, automated driving functions can be adapted to difficult weather conditions and can also be used in challenging environments. Combining these sensor information, it is possible to react quickly and appropriately to dangerous traffic situations such as slippery or snowy roads and thereby increasing road safety. In addition, the resilience to failures of individual sensors is increased by the sensor fusion approaches. Numerous accident statistics and studies show that these conditions are also challenging for human drivers and will be avoided as far as possible. As a result of this research project, road safety for human drivers will also increase thanks to situation-specific warning strategies without false warnings.

## **Endberichtkurzfassung**

Das zentrale Ziel des Forschungsprojekts SenseRoad\_AD war es, die Schlüsseltechnologien Time-of-Flight-Kamera und Fahrdynamik-Zustandsbeobachtung gezielt zu kombinieren in einer Sensorfusion zur Reifen-Straßen-Zustandsermittlung. Der langfristige Anwendungsfall ist ein serienmäßig einsetzbares, robustes und wettbewerbsfähiges System für automatisierte Fahrfunktionen sowie für die Warnung von Fahrer\*innen in kritischen Fahrsituationen (z.B. Aquaplaning oder Glatteis).

Das Hauptziel von SenseRoad\_AD konnte erreicht werden, auch wenn es bei der verwendeten Kamera technische Einschränkungen gab, die sich im Laufe der Machbarkeitsuntersuchungen zeigten. Die Entwicklung der

Sensorfusionsstrategie zur Reifen-Fahrbahn-Reibwertermittlung wurde in der Co-Simulation zwischen IPG CarMaker und Matlab/Simulink entwickelt und optimiert. Die darin enthaltenen Modelle für Kamera und Fahrdynamik-Beobachter wurden separat mit Messdaten validiert. Es konnte in der Simulation gezeigt werden, dass die beiden untersuchten Sensorfusionsansätze deutlich genauere und robustere Werte liefern wie die Einzelmethoden. Dies gilt für den Geschwindigkeitsbereich in Städten und für unterschiedliche Reifen-Fahrbahn-Reibwerte. Zwischen deterministischer Strategie und einem neuronalen Netzwerk-Ansatz für die Sensorfusion wurden nur geringfügige Unterschiede im Bezug auf Genauigkeit identifiziert. Es hat sich gezeigt, dass die deterministische Strategie leichter an gewisse Optimierungsziele anzupassen ist (z.B. hohe Fahrsicherheit vs. Agilität).

Highlights im Forschungsprojekt:

Testen der Time-of-Flight-Kamera auf einer Vielzahl von verschiedenen Untergründen, verschiedenen Wasserfilmhöhen und Beleuchtungszuständen am Digitrans-Testgelände:

Auch wenn die Klassifizierung der Fahrbahn und der Wasserfilmhöhe während dynamischen Fahrten leider nicht möglich war mit der Kamera, hat sie im Stillstand doch sehr genaue und verlässliche Werte geliefert und robust gegen Umgebungsbedingungen (Regentropfen, Lichtveränderungen), wie der Vergleich mit dem Referenzsensor Luftt MARWIS gezeigt hat.

Kombinierte Schwimmwinkel- und Schräglaufwinkelbeobachter: Aus dem Projekt ist eine Vielzahl an Beobachtern entstanden, die für unterschiedliche Anwendungen (linearer Fahrbereich, sehr hohe dynamische Anregung, etc.) sehr exakte und verlässliche Schätzwerte liefern. Mit Hilfe von Messdaten vom Versuchsfahrzeug konnten diese für verschiedene Fahrzustände und auch auf unterschiedlichen Reibwerten getestet werden.

Sensorfusionsstrategie : Es hat sich in der Simulation gezeigt, dass die Kombination aus einem fahrdynamikbasierten Verfahren und einem vorausschauenden, optischen Verfahren in allen untersuchten Szenarien besser war als die Ergebnisse der Einzelmethoden. In Hinblick auf die Fahrsicherheit, insbesondere für automatisierte Fahrfunktionen, konnte eine sehr hohe Genauigkeit sowie Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gewährleistet werden.

## **Projektkoordinator**

- Technische Universität Graz

## **Projektpartner**

- AVL List GmbH
- Infineon Technologies Austria AG