

22. Newsletter der SAFIR-Forschungspartnerschaft

22. Newsletter
Juli 2025



*Sehr geehrte Damen und Herren,
liebe Kolleginnen und Kollegen,*

*wir freuen uns sehr, Ihnen heute unseren 22. SAFIR-Newsletter
präsentieren zu können und wünschen Ihnen viel Freude beim Lesen.*

*Sie finden alle früheren Newsletter-Ausgaben auch zum Download auf
unserer Webseite www.thi.de/go/safir unter den News. Sollten weitere
Kolleginnen und Kollegen bzw. Partner von Ihnen unseren Newsletter
künftig automatisch beziehen wollen, dann treten Sie bitte per E-Mail mit
Camila Heller, unter camila.heller@thi.de, in Kontakt.*

*Mit unserem Newsletter möchten wir Sie in regelmäßigen Abständen über
Neuigkeiten, aktuelle Themen sowie interessante Termine aus der
Forschungspartnerschaft SAFIR informieren. Über Feedback sowie
konstruktive Anregungen und Änderungswünsche freuen wir uns!*

Herzliche Grüße vom

SAFIR Management-Team



Inhalte

- Impulse für die Zukunft: SAFIR Management on Tour
- Aktueller Stand Impuls Projekt 13: Hybride Modelle und KI Methoden für Sichere Mobilität - Datennutzung für die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen (HyMne 2)
- Abschlussbericht Impulsprojekt 6: Mixed Reality-gestützte Absicherung sicherheitskritischer automatisierter Fahrfunktionen (MIRASOFT)

English version below...



Impulse für die Zukunft: SAFIR Management on Tour

Die vergangenen Wochen standen im Zeichen des internationalen Austauschs und der Zusammenarbeit. Im Rahmen der SAFIR-Aktivitäten fanden zwei bedeutende Reisen statt, die wertvolle Impulse für das Netzwerk und die strategische Weiterentwicklung lieferten.

Im Juni erfolgte ein Besuch an der Gdańsk University of Technology, der polnischen Partnerhochschule des Konsortiums. Dort kamen Vertreterinnen und Vertreter der neun Hochschulen des ACE²EU-Konsortiums zusammen, um über die Entwicklung eines gemeinsamen digitalen europäischen Campus zu beraten. Die Gastgeberinnen und Gastgeber in Danzig zeigten eindrucksvoll, wie Forschung und Lehre mit gesellschaftlicher Verantwortung verbunden werden – insbesondere durch die Förderung von Unternehmertum und Nachhaltigkeit. Besonders hervorzuheben ist das Hydrogen Lab, in dem interdisziplinäre Teams an innovativen Energielösungen arbeiten. Die enge Verzahnung von angewandter Forschung, wirtschaftlicher Verwertung und praxisnaher Ausbildung zog sich als roter Faden durch viele Beiträge.



Wenige Wochen später stand die Teilnahme an der internationalen UIIN-Konferenz in Amsterdam auf dem Programm. Die University Industry Innovation Network Conference gilt als eines der führenden europäischen Foren zur Gestaltung von Partnerschaften zwischen Hochschulen und Wirtschaft. Dort wurde deutlich: Um Studierende wirksam auf zukünftige Herausforderungen

wie Klimaschutz, Digitalisierung oder sozialen Wandel vorzubereiten, sind neue Formen der Zusammenarbeit erforderlich. Hochschulen und Unternehmen müssen gemeinsam Räume schaffen, in denen Kreativität, Neugier und unterschiedliche Perspektiven aufeinandertreffen. Ein zentrales Fazit: Wirkungsvolle Kooperationen entstehen oft außerhalb etablierter Strukturen – in überraschenden Partnerschaften, die Offenheit, Mut und eine Kultur des Fragens erfordern.

Diese Impulse fließen nun in neue Projekte, Veranstaltungen und Formate des SAFIR-Netzwerks ein – mit dem Ziel, Innovationen nicht nur zu denken, sondern gemeinsam umzusetzen.



Aktueller Stand Impuls Projekt 13: Hybride Modelle und KI Methoden für Sichere Mobilität - Datennutzung für die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen (HyMne 2)

Das Impulsprojekt „Hybride Modelle und KI Methoden für Sichere Mobilität - Datennutzung für die Absicherung automatisierter Fahrfunktionen“ (HyMne2) kombiniert Domänenwissen über die Fahrzeugdynamik mit Methoden des maschinellen Lernens, um (1) die Zustandsschätzung von Inertialmesssystemen zu verbessern, (2) realistisches Fahrverhalten zu generieren und mittels Guidance Mechanismen zu steuern sowie (3) relevante Verkehrssituationen für den Test automatisierter Fahrfunktionen zu identifizieren. Mit

diesem Newsletter möchten wir Ihnen Einblicke in die aktuellen Forschungsarbeiten im SAFIR-Impulsprojekt 13 geben, das von Professor Dr.-Ing. Michael Botsch geleitet wird.

KI-basierte Optimierung von Korrekturdaten für Inertialmesssysteme

Für die Entwicklung und Erprobung des automatisierten Fahrens ist eine präzise Schätzung des Fahrzeugzustands von entscheidender Bedeutung. Im Allgemeinen wird eine solche Referenzzustandsschätzung durch die Fusion eines Trägheitsnavigationssystems (INS) mit globalen Satellitennavigationssystemen (GNSS) erreicht. In Umgebungen wie Tunneln oder Häuserschluchten verschlechtert sich jedoch die Genauigkeit der Zustandsschätzung. Daher sind zusätzlich Quellen für Korrekturdaten erforderlich. In Teilprojekt I werden die Daten von On-Board-Sensoren zur Erzeugung von Korrekturdaten für das INS verwendet. Diese Daten stellen die Eingangsdaten für ein Uncertainty-Aware-Hybrid-Learning-Modell (UAHL) dar, das den Schwimmwinkel schätzt. Dieses Modell kombiniert ein KI-Modell mit Fahrzeugbewegungsmodellen und wurde auf dem IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2025 veröffentlicht. Die aus den OBD-Daten geschätzte Fahrzeuggeschwindigkeit und der Schwimmwinkel werden zur Erzeugung von Korrekturdaten verwendet. Diese Geschwindigkeitskorrekturdaten verbessern die Lokalisierungsleistung bei Satellitenausfällen und wurden mittels Realtests auf der CARISSMA-Freiversuchsfläche validiert.

Der Industriepartner im Teilprojekt I ist die Firma GeneSys Elektronik GmbH, deren INS den Namen ADMA G Pro+ trägt.

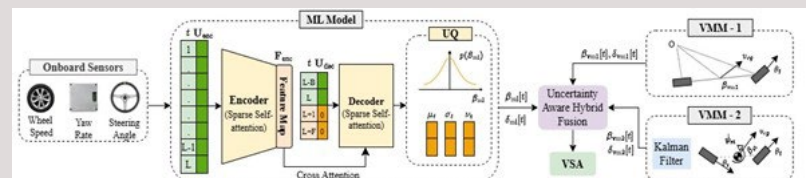


Abb. 1: Uncertainty-Aware-Hybrid-Learning-Modell zur Schätzung des Fahrzeug-schwimmwinkels (IEEE IV 2025 Veröffentlichung: "Uncertainty-Aware Hybrid Machine Learning in Virtual Sensors for Vehicle Sideslip Angle Estimation").

Quelle: THI

Guided Driver Behavior Generation

Im Teilprojekt II wird eine hybride Modellarchitektur entwickelt, die datengetriebene Fahrerverhaltensmodelle gezielt beeinflussbar macht. Das zugrunde liegende KI-Modell verarbeitet historische Fahrdaten und sogenannte „Guidance“-Informationen, um Steuerbefehle wie Längsbeschleunigung und Gierrate zu berechnen. Ein nachgeschaltetes physikalisches Bewegungsmodell wandelt diese Signale in realistische Fahrzeugtrajektorien um. Die zweistufige Architektur verbindet lernbasiertes Verhalten mit physikalischer Plausibilität. Ziel ist es, das Modell auch mit externen Vorgaben wie Zielpunkten oder gewünschten Fahrweisen zu konditionieren. Diese fließen direkt in die Entscheidung des KI-Modells (LSTM) ein und ermöglichen gezielte Anpassungen an unterschiedliche Szenarien – etwa zur Erzeugung bestimmter Manöver. Um realistische Steuerbefehle zu garantieren, werden Begrenzungen für Beschleunigung und Lenkung in die KI-Architektur integriert sowie Mechanismen zur Glättung zeitlicher Schwankungen hinzugefügt. Das Ergebnis ist ein flexibles Modell, mit dem sich realitätsnahe, konditionierbare Fahrerverhaltensmodelle für simulationsbasierte Tests im Bereich des autonomen Fahrens erzeugen lassen und welches auf der IEEE ITSC 2025 veröffentlicht wird.

Der Industriepartnerspartner in diesem Teilprojekt ist die Firma ZF Mobility Solutions GmbH.

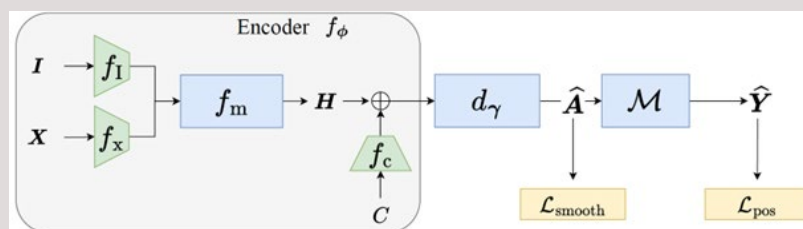


Abb. 2: Hybrides KI-Modell zur Generierung von konditionierbaren fahrbaren Fahrzeugtrajektorien (IEEE ITSC 2025 Veröffentlichung: „Conditioned Trajectory Generation for Realistic Driving Scenarios via a Hybrid Machine Learning Architecture“).

Quelle: THI

Selektion von relevanten Szenarien zur Validierung von Fahrfunktionen

Der Test- und Freigabeprozess automatisierter Fahrfunktionen basierend auf dem szenariobasierten Testen erfordert charakteristische Testszenarien. Diese

sind jedoch stark abhängig vom aktuellen Arbeitspunkt der zu testenden Fahrfunktion. In Teilprojekt III werden neben Szenarien mit einer erhöhten Kritikalität auch Verkehrssituationen identifiziert, in denen die Verkehrsteilnehmer ein seltenes atypisches Verhalten zeigen. Die Identifikation dieser relevanten Szenarien aus Datensätzen wie Argoverse oder INTERACTION wird mittels Clusterverfahren in latenten Räumen durchgeführt. Von besonderer Relevanz sind Ausreißer, das heißt Verkehrssituationen, die keinem der Cluster zugeordnet werden können. Zur Generierung der latenten Darstellung, die eine abstrahierte komprimierte Darstellung der Szenarien darstellt, wird das KI-Verfahren "Metric-Learning" verwendet. Hierfür wurden Randbedingungen an die Struktur des latenten Raums festgelegt, sodass Szenarien mit ähnlicher Infrastruktur und Teilnehmergehalten nahe beieinanderliegen. Die Ähnlichkeiten zwischen Szenarien werden durch einen Vergleich der Graphendarstellungen des Straßennetzes und der Routen der Verkehrsteilnehmer bewertet.

Der Industrieprojektpartner in diesem Teilprojekt ist die Audi AG.

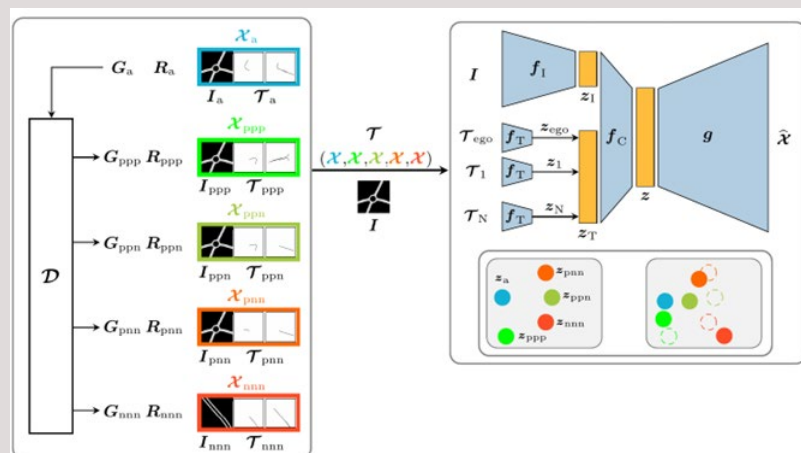


Abb. 3: Architektur des Modells zur Generierung der latenten Darstellung für das Clusterverfahren zum Finden von relevanten Verkehrsszenarien.

Quelle: THI



Wissenschaftliche Mitarbeiter im Projekt HyMne 2

Abinav Kalyanasundaram ist seit 2023 wissenschaftlicher Mitarbeiter bei C-IAD. Er erwarb seinen Bachelor in Maschinenbau am Vellore Institute of Technology, Indien, und seinen Master-Abschluss in Fahrzeugtechnik an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Seit 2024 ist er auch an der THI Doctoral School eingeschrieben. Sein Hauptforschungsgebiet ist die Entwicklung von Uncertainty-Aware-Hybrid-Learning-Modellen zur Zustandsschätzung in intelligenten Fahrzeugsystemen.



Robin Egolf hat Anfang 2023 den Bachelor in Künstliche Intelligenz an der Technischen Hochschule Ingolstadt abgeschlossen und setzt derzeit seine Ausbildung in einem Forschungs-Masterprogramm fort. Bereits im ersten Bachelor-Semester arbeitete er als studentische Hilfskraft in der Forschungsgruppe von Prof. Botsch mit, wo er nun im Rahmen von HyMne2 als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig ist. In seinen bisherigen Forschungsarbeiten hat er sich mit dem Einsatz von generativen KI-Modellen im Bereich des automatisierten Fahrens beschäftigt.



Peter Riegl erwarb 2013 sein Diplom in Maschinenbau an der Technischen Universität Dresden und 2017 seinen Master in Fahrzeugtechnik an der Technischen Hochschule Ingolstadt. Sein Forschungsschwerpunkt liegt auf der Szenariengenerierung und Selektion von relevanten Verkehrssituationen zur Validierung von Fahrzeugsicherheitsfunktionen in Simulationsumgebungen, die dem realen Straßenverkehr nachempfunden sind. Des Weiteren beschäftigt er sich mit dem kooperativen automatisierten Fahren von Versuchsfahrzeugen auf dem CARISSMA Freiversuchsgelände.

Förderkennzeichen HyMne 2: 13FH7I13IA



Abschlussbericht Impulsprojekt 6: Mixed Reality-gestützte Absicherung sicherheitskritischer automatisierter Fahrfunktionen (MIRASOFT)

MIRASOFT – Mixed Reality für sichere automatisierte Mobilität - Wie Mixed Reality hilft, automatisiertes Fahren erklärbarer, sicherer und realitätsnäher zu machen

Nach knapp vier Jahren intensiver Forschung geht das FH-Impulsprojekt IP6 "MIRASOFT" nun in seine finale Phase. Ziel des Projekts war es, automatisierte Fahrfunktionen mithilfe von Mixed Reality-Technologien realistischer zu simulieren, transparenter zu gestalten und letztlich besser abzusichern – sowohl für Fahrende als auch für ungeschützte Verkehrsteilnehmende wie Fußgänger.

In Zusammenarbeit mit Partnern aus Industrie (u. a. AUDI AG, e:fs GmbH) und Wissenschaft wurde – auf Basis der Vorarbeiten aus der Aufbauphase von SAFIR – eine umfassende Simulationsumgebung entwickelt (MiRE), in der menschliches Verhalten, maschinelle Entscheidungen und deren Kommunikation aufeinander abgestimmt getestet und optimiert werden können.

Teilprojekt 1: Fußgängerverhalten digitalisieren

Ein zentrales Ziel war es, das Verhalten von Fußgängern möglichst realistisch in digitale Umgebungen zu übertragen, eine Voraussetzung für valide und verlässliche Tests automatisierter Fahrzeuge. Mit Hilfe von Motion Capture-Aufnahmen realer Fußgängerbewegungen und standardisierten Schnittstellen (OSI) konnte ein digitales Fußgängermodell geschaffen werden, das realitätsnahes Verhalten in komplexen Verkehrssituationen abbildet. **Doch einige grundlegende Herausforderungen bleiben für zukünftige Forschung offen:** Wie lässt sich menschliches Verhalten zuverlässig modellieren, wenn es stark von Kontext, Emotionen und sozialen Normen abhängt? Wie können diese Modelle unter wechselnden Bedingungen (Wetter, Kultur, Verkehrsdichte) robust eingesetzt werden?

Teilprojekt 2: Fahrer und Vertrauen: Wie viel Information ist genug?

Ein weiterer Fokus lag auf der Fahrerperspektive in hochautomatisierten Fahrzeugen. Durch Studien mit Virtual Reality und realen Nutzergruppen wurde untersucht, wie gut Menschen automatisierte Fahrfunktionen verstehen und wie sich Erklärungen auf Vertrauen, Akzeptanz und das subjektive Gefühl von Kontrolle auswirken. **Ein Spannungsfeld wurde sichtbar:** Je besser die Systeme sich erklären, desto mehr Vertrauen bauen Nutzende auf, teilweise sogar zu viel (in der Literatur bekannt als "Overtrust"). Eine

sogenannte „Illusion der Kontrolle“ kann entstehen, die potenziell gefährlich ist, wenn die tatsächlichen Eingriffsmöglichkeiten begrenzt sind.

Teilprojekt 3: MiRE-Architektur

Der letzte Teil des Projekts betraf die Weiterentwicklung und Evaluierung der Architektur, auf der die Mixed Reality-Versuchsumgebung MiRE basiert, die in der Aufbauphase von SAFIR initial implementiert wurde. Dieses Teilprojekt wurde 2022 erfolgreich abgeschlossen.



Abb. 4: Versuchsperson bei der Teilnahme einer Nutzerstudie in Teilprojekt 2. In einer VR-Studie wurde der Einfluss verschiedener Erklärungsarten des automatisierten Fahrzeugverhaltens auf die Nutzererfahrung und Interaktion untersucht.

Quelle: THI

Herausforderungen & offene Fragen

Trotz vieler Erfolge brachte das Projekt auch grundlegende Herausforderungen und offene Fragen ans Licht:

- **Standardisierung vs. Flexibilität:** Offene Schnittstellen fördern Interoperabilität, doch bringen sie Komplexität und potenzielle Kompatibilitätsprobleme mit sich. Vor allem, wenn externe Partner oder neue Simulatoren integriert werden sollen.
- **Realitätsnähe vs. Generalisierbarkeit:** Die Anzahl möglicher Verkehrssituationen ist enorm. Wie können Simulationen so gestaltet werden, dass sie ausreichend viele Edge-Cases abdecken? Und wie wird sichergestellt, dass die „kritischsten“ Szenarien auch wirklich erkannt und getestet werden? Ein simulationsbasiertes Vorgehen ist in Zukunft auch durch EuroNCAP

geplant um zukünftig die Homologation von automatisierten Fahrfunktionen zu unterstützen.

- **Übertragbarkeit von Forschung in die Praxis:** Zahlreiche Erkenntnisse wurden unter Labor- oder Simulationsbedingungen gewonnen. Wie robust sind diese Ergebnisse in der echten Welt mit all ihren Unwägbarkeiten? Der Transfer vom Forschungsergebnis zum seriennahen Einsatz bleibt eine kritische Hürde.
- **Modularität vs. Systemintegration:** Die entwickelten Module (z. B. Fußgängermodell, Simulationsumgebung) sind flexibel einsetzbar, aber wie gut integrieren sie sich in bestehende Fahrzeug- und Testsysteme? Und wie kann langfristige Wartbarkeit sichergestellt werden?

Ergebnisse & Ausblick

MIRASOFT hat mit der Versuchsumgebung MiRE, den realitätsbasierten Fußgängermodellen und den zahlreichen Human-Factors Studien eine starke Grundlage geschaffen:

- für erklärbare, nachvollziehbare Fahrfunktionen,
- für die Validierung sicherheitskritischer Situationen,
- und für eine transparentere Kommunikation zwischen Fahrzeug und Mensch.

Die entwickelten Tools, Schnittstellen und Erkenntnisse werden auch nach Projektende für Forschung und Industrie zur Verfügung stehen, mit Potenzial zur Ausgründung und Integration in europäische Initiativen wie EuroNCAP oder Weiterentwicklung im Rahmen von Horizon Europe-Projekten.

MIRASOFT zeigt, wie Mixed Reality ein Schlüssel sein kann, automatisiertes Fahren sicherer, verständlicher und akzeptierter zu machen. Eine flächendeckende Anwendung liegt allerdings noch in der Zukunft und erfordert weiterführende Forschung, um belastbare Standards zu entwickeln.

Wissenschaftliche Mitarbeitende im Projekt MIRASOFT



M.Sc. Jakob Peintner

Jakob absolvierte den Bachelor-Studiengang Industrial Design an der OTH Regensburg und anschließend den Master-Studiengang Human Factors Engineering an der TU München. Im Rahmen des MIRASOFT-Projekts befasst er sich sowohl mit der Rolle des Menschen beim automatisierten Fahren als auch mit der technischen Umsetzung einer Mixed-Reality Versuchsumgebung für das Testen automatisierter Fahrfunktionen.



M.Sc. Carina Manger

Carina ist wissenschaftliche Mitarbeiterin in der von Prof. Andreas Riener geleiteten Human-Computer Interaction Group (HCIG) und seit Sommer 2021 auf dem MIRASOFT-Projekt angestellt. Sie hat Psychologie an der Universität Wien und Human Factors Engineering an der TU München studiert und untersucht nun an der THI und in ihrer Promotion wie automatisierte Fahrfunktionen erklärbar und sicher gestaltet werden können.



M.Sc. Maikol Funk Drechsler

Maikol Funk Drechsler hat sein Studium an der Bundesuniversität von Santa Catarina in Brasilien im Bereich Fahrzeugtechnik abgeschlossen. Außerdem hat er Master in einer Kooperation zwischen der Bundesuniversität von Santa Catarina und der THI im selben Bereich absolviert. Derzeit arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter im Hardware-in-the-Loop-Labor des Research Center CARISSMA an der THI und forscht den Einsatz von simulationsbasierten Tests für die Automobilbranche.

Förderkennzeichen MIRASOFT: 13FH7I06IA

Dear Ladies and Gentlemen, Dear Colleagues,

we are very pleased to present you today our 22nd SAFIR Newsletter and hope you enjoy reading it.

You can also find all previous newsletter issues for download on our website www.thi.de/go/safir under News. If other colleagues or partners of yours would like to receive our newsletter automatically in the future, please contact Camila Heller by e-mail, at camila.heller@thi.de.

Our newsletter aims to provide you with regular updates on news, current topics and dates of interest relating to the SAFIR research partnership. We look forward to your feedback as well as constructive suggestions and requests for changes!

Best wishes from the

SAFIR management team



Content

- New Perspectives for Innovation and Collaboration: THI becomes ACE²-EU University Alliance
- Current status Impulse Project 13: Hybrid Models and AI Methods for Safe Mobility - Data Generation and Data Quality (HyMne 2)
- Final Report Impulse Project 6: Mixed Reality-supported safeguarding of safety-critical automated driving functions (MIRASOFT)



Impulses for the Future: SAFIR Management on Tour

The past weeks have been marked by international exchange and collaboration. As part of the SAFIR activities, two significant trips took place, providing valuable impulses for the network and its strategic development.

In June, a visit was made to the Gdańsk University of Technology, the Polish partner university of the consortium. Representatives from the nine universities of the ACE²EU consortium gathered there to discuss the development of a joint digital European campus. The hosts in Gdańsk impressively demonstrated how research and teaching can be linked to societal responsibility – especially through the promotion of entrepreneurship and sustainability. A particular highlight was the Hydrogen Lab, where interdisciplinary teams work on innovative energy solutions. The strong integration of applied research, economic utilization, and practice-oriented education emerged as a central theme in many contributions.



A few weeks later, participation in the international UIIN Conference in Amsterdam followed. The University Industry Innovation Network Conference is considered one of Europe's leading forums for shaping partnerships between universities and industry. One key takeaway became clear: To effectively prepare students for future challenges such as climate action, digital transformation, or social change, new forms of collaboration are needed. Universities and businesses must co-create spaces where creativity, curiosity, and

diverse perspectives can converge. A central conclusion: Impactful cooperation often arises outside of established structures – in unexpected partnerships that require openness, courage, and a culture of inquiry.

These insights are now flowing into new projects, events, and formats within the SAFIR network – with the goal of not just imagining innovation, but implementing it together.



Current status Impulse Project 13: Hybrid Models and AI Methods for Safe Mobility - Data Generation and Data Quality (HyMne 2)

The impulse project “Hybrid Models and AI Methods for Safe Mobility - Data Use for Safeguarding Automated Driving Functions” (HyMne2) combines domain knowledge of vehicle dynamics with machine learning methods to (1) improve the state estimation of inertial measurement systems, (2) generate realistic driving behavior and control it using guidance mechanisms and (3) identify relevant traffic situations for testing automated driving functions. With this newsletter, we would like to give you an insight into the current research work in SAFIR Impulse Project 13, which is led by Professor Dr.-Ing. Michael Botsch.

AI-based optimization of correction data for inertial measurement systems

Precise vehicle state estimation is crucial for the development and testing of autonomous driving. In general, such reference state estimation is achieved by fusing an Inertial Navigation System (INS) with Global Navigation Satellite Systems (GNSS). However, in environments such as tunnels or urban canyons prone to satellite outages, the accuracy of state estimation degrades, highlighting the need for alternative sources of correction data. In subproject I, the vehicle's on-board sensors are used to generate correction data for INS. An Uncertainty-Aware Hybrid Learning (UAHL) architecture was developed to estimate the vehicle side slip angle from onboard sensor data. It combines an AI model with vehicle motion models and was published in the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2025. The velocity magnitude and vehicle sideslip angle estimated from onboard sensors were used to generate correction data. This velocity correction data improves localization performance during satellite outages and was successfully validated through real-world testing at the CARISSMA outdoor test site.

The industry project partner in the subproject I is the company GeneSys Elektronik GmbH, and the INS of the industry partner is called ADMA G Pro+.

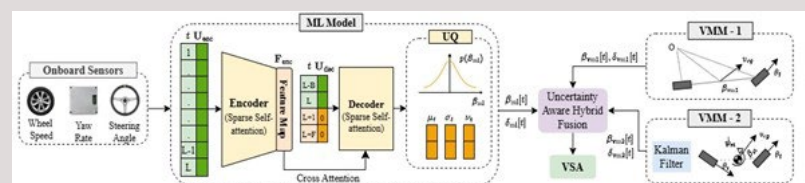


Fig. 1: UAHL: Uncertainty aware hybrid learning framework for vehicle side slip angle estimation (IEEE IV 2025 publication: “Uncertainty-Aware Hybrid Machine Learning in Virtual Sensors for Vehicle Sideslip Angle Estimation”).

Source: THI

Guided Driver Behavior Generation

In subproject II, a model hybrid architecture is developed that enables data-driven driver behavior models to be controlled in a targeted manner. The underlying AI model processes historical driving data and so-called “guidance” information in order to calculate control signals such as longitudinal acceleration and yaw rate. A downstream physical

motion model converts these signals into realistic vehicle trajectories. This two-stage architecture combines learning-based behavior generation with physical plausibility. Another objective is to condition the model with external specifications, such as target points or desired driving styles. These conditions are integrated into the AI model's decision-making process, enabling targeted adjustments to different scenarios, such as the generation of specific maneuvers. In order to ensure realistic control commands, limits for acceleration and steering are integrated, as well as mechanisms to smooth out temporal fluctuations. The result is a flexible model that can be used to generate realistic and conditionable driver behaviour models for simulation-based tests in the field of autonomous driving, which will be presented at IEEE ITSC 2025.

The industrial project partner in this subproject is ZF Mobility Solutions GmbH.

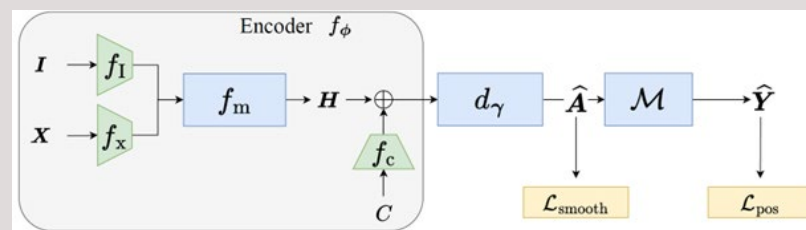


Fig. 2: Hybrid AI model for generating conditioned drivable vehicle trajectories (IEEE ITSC 2025 publication: “Conditioned Trajectory Generation for Realistic Driving Scenarios via a Hybrid Machine Learning Architecture”)

Source: THI

Selection of relevant scenarios for the validation of driving functions

The test and release process for automated driving functions, which is based on scenario-based testing, requires characteristic test scenarios. However, these scenarios are highly dependent on the operating point of the driving function to be tested. In subproject III, in addition to scenarios with increased criticality, traffic situations are also identified in which road users exhibit rare or atypical behavior. These relevant scenarios are identified in datasets like Argoverse or INTERACTION using clustering methods in latent spaces. Outliers, i.e. traffic situations that cannot be assigned to any of the clusters, are of particular relevance. Metric learning is used to generate the latent representation, which serves as an abstracted and compressed encoding of the

scenarios. In order to ensure a meaningful structuring of the latent space, constraints are defined so that scenarios with similar infrastructure and similar behavior of road users are close to each other. For the training process of the AI model, the similarities between scenarios are evaluated by comparing the graph representations of the road network and of the routes of the traffic participants.

The industrial project partner in this subproject is Audi AG.

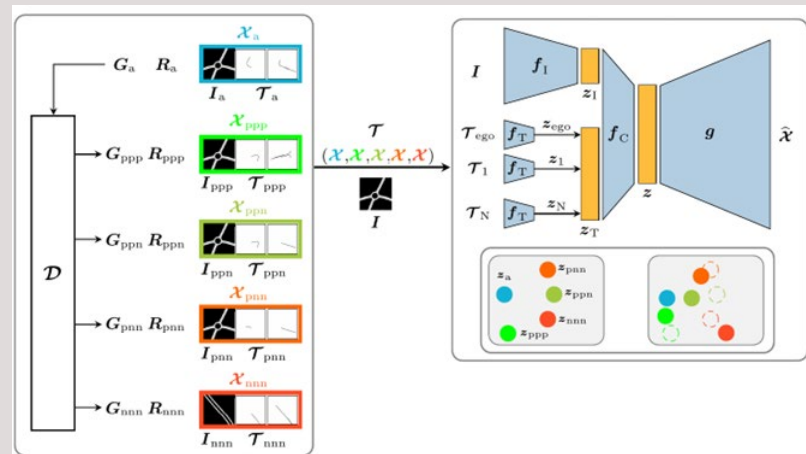


Fig. 3: Model architecture for generating latent representations used for clustering and identifying relevant traffic scenarios.

Source: THI

Research Assistant in the HyMne 2 project



Abinav Kalyanasundaram has been a Research Assistant at C-IAD since 2023. He earned his bachelor's in mechanical engineering from Vellore Institute of Technology, India and his master's degree in automotive engineering at Technische Hochschule Ingolstadt. He is also enrolled at the THI Doctoral school since 2024. His main area of research is Uncertainty-Aware Hybrid AI for state estimation in intelligent vehicle systems.



Robin Egolf graduated from Technische Hochschule Ingolstadt with a Bachelor's degree in Artificial Intelligence in early 2023, and is currently continuing his education in a research master's program. Already in his first Bachelor semester he worked as a working student assistant in the research group of Prof. Botsch, where he is now a research assistant within HyMne2. In his research work so far, he has focused on the use of generative AI models in the field of automated driving.



Peter Riegl received his diploma in mechanical engineering from the Technical University of Dresden in 2013 and his master's degree in automotive engineering from the Technische Hochschule Ingolstadt in 2017. His research focuses on scenario generation and selection of relevant traffic situations for the validation of vehicle safety functions in virtual test drives that are modeled based on real road traffic. He is also involved in the cooperative automated driving of test vehicles on the CARISSMA outdoor test facility.

Förderkennzeichen HyMne 2: 13FH71131A



Final Report Impulse Project 6: Mixed Reality-supported safeguarding of safety-critical automated driving functions (MIRASOFT)

MIRASOFT – Mixed Reality for Safe Automated Driving

After nearly four years of intensive research, the FH-Impuls project IP6 "MIRASOFT" is now entering its final phase. The goal of the project was to use mixed reality technologies to make automated driving functions more realistic to simulate, more transparent to understand, and ultimately safer, both for drivers and vulnerable road users such as pedestrians. In collaboration with industry partners (including AUDI AG and e:fs GmbH) and academic institutions, a comprehensive simulation environment (MiRE) was developed, building on the groundwork laid during the initial SAFIR phase. This environment enables coordinated testing and optimization of human behavior, machine decisions, and their communication.

Subproject 1: Realistic Pedestrian Simulation

A central goal was to realistically transfer pedestrian behavior into digital environments, an essential prerequisite for valid and reliable testing of automated vehicles. Using motion capture recordings of real pedestrian movements and standardized interfaces (OSI), a digital pedestrian model was created that replicates realistic behavior in complex traffic scenarios. However, some fundamental challenges remain open for future research: How can human behavior be reliably modeled when it is heavily influenced by context, emotions, and social norms? And how can these models

be applied robustly under varying conditions such as weather, culture, or traffic density?

Subproject 2: Driver and Trust – How Much Information is Necessary?

Another focus was on the driver's perspective in highly automated vehicles. Through studies using virtual reality and real user groups, the researchers investigated how well people understand automated driving functions and how explanations affect trust, acceptance, and the subjective sense of control. A key area of tension emerged: the better the systems explain themselves, the more trust users tend to build, sometimes even too much, a phenomenon known in the literature as “overtrust.” This can lead to an “illusion of control,” which may become dangerous when the actual possibilities for driver intervention and control are limited.

Subproject 3: MiRE-Architecture

The final part of the project focused on the further development and evaluation of the architecture underlying the Mixed Reality testing environment MiRE, which was initially implemented during the SAFIR setup phase. This subproject was successfully completed in 2022.



Fig. 4: A participant taking part in a user study within Subproject 2. In a VR study, the impact of different types of explanations for automated vehicle behavior on user experience and interaction was investigated.

Source: THI

Challenges & Open Questions:

Despite many successes, the project also revealed fundamental challenges and open questions:

- **Standardization vs. Flexibility:** Open interfaces promote interoperability, but they also introduce complexity and potential compatibility issues,

especially when integrating external partners or new simulators.

- **Realism vs. Generalizability:** The number of possible traffic scenarios is immense. How can simulations be designed to cover a sufficient range of edge cases? And how can we ensure that the most critical scenarios are actually identified and tested? Simulation-based approaches are also planned by EuroNCAP in the future to support the homologation of automated driving functions.
- **Transferability of Research to Practice:** Many insights were gained under laboratory or simulation conditions. But how robust are these findings in the real world, with all its uncertainties? Bridging the gap from research outcomes to near-production applications remains a key challenge.
- **Modularity vs. System Integration:** The developed modules (e.g., pedestrian model, simulation environment) are designed to be used flexibly, but how well do they integrate into existing vehicle and testing systems? And how can long-term maintainability be ensured?

Results & Outlook

With the MiRE testing environment, realistic pedestrian models, and numerous human factors studies, MIRASOFT has established a strong foundation:

- for explainable and comprehensible driving functions,
- for the validation of safety-critical scenarios,
- and for more transparent communication between automated vehicles and humans.

The tools, interfaces, and insights developed during the project will remain available to both research and industry after the project's completion, with potential for spin-offs and integration into European initiatives such as EuroNCAP or further development within Horizon Europe projects.

MIRASOFT demonstrates how mixed reality can be a key enabler in making automated driving safer, more understandable, and more widely accepted. However, widespread implementation still lies in the future and

requires continued research to develop robust standards.

Research Assistant in the MIRASOFT project



M.Sc. Jakob Peintner

Jakob completed the bachelor's program in Industrial Design at the OTH Regensburg and then the master's program in Human Factors Engineering at the TU Munich. As part of the MIRASOFT project, he is working on both the role of humans in automated driving and the technical implementation of a mixed reality test environment for testing automated driving functions.



M.Sc. Carina Manger

Carina is a research associate in the Human-Computer Interaction Group (HCIG) led by Prof. Andreas Riener and has been employed on the MIRASOFT project since summer 2021. She studied Psychology at the University of Vienna and Human Factors at the TU Munich and is now investigating at THI and in her PhD how automated driving functions can be made explainable and safe.



M.Sc. Maikol Funk Drechsler

Maikol Funk Drechsler graduated from the Federal University of Santa Catarina in Brazil in automotive engineering. He also completed his master's in cooperation with the Federal University of Santa Catarina and THI in the same field. He is currently working as a research assistant in the Hardware-in-the-Loop laboratory of the Research Center CARISSMA at THI, researching the use of simulation-based testing for the automotive industry.

Förderkennzeichen MIRASOFT: 13FH7I06IA