

# AURONA – ein Autonomer rekonfigurierbarer Funktionsträger für nachhaltige Mobilität

Sven Jacobitz<sup>1\*</sup>, Marian Göllner<sup>1</sup>, Taihao Li<sup>1</sup>, Paul Ole Flender<sup>1</sup>, Xiaobo Liu-Henke<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Fachgruppe für Regelungstechnik und Fahrzeugmechatronik, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften, Salzdahlumer Str. 46/48, 38302 Wolfenbüttel; \*[sve.jacobitz@ostfalia.de](mailto:sve.jacobitz@ostfalia.de)

**Kurzfassung.** Der vorliegende Beitrag stellt den Autonom rekonfigurierbaren Funktionsträger für nachhaltige Mobilität AURONA vor. Die mit dem Funktionsträger forcierte Forschung konzentriert sich auf die Entwicklung autonomer Fahrzeugtechnologien und die Integration fortschrittlicher Sensordatenerfassung und -verarbeitung, unterstützt durch V2X-Kommunikation. AURONA ist modular aufgebaut und basiert auf einer rekonfigurierbaren und flexiblen Architektur, die es ermöglicht, verschiedene Komponenten und Systeme effizient zu integrieren und zu testen. Der Beitrag beschreibt die Konzeption, die Systemstrukturierung, die Sensorik und Kommunikationsansätze sowie erste Schritte zur Realisierung und Verifikation des Funktionsträgers. Durch seine hochmoderne Ausstattung und Fähigkeit zur Echtzeitdatenverarbeitung dient AURONA als wegweisende Plattform für die Mobilität der Zukunft.

## Einleitung

Autonome Fahrzeuge sind ein wesentlicher Bestandteil zukünftiger Mobilitätsszenarien. Sie sorgen für eine Steigerung der Verkehrssicherheit und bieten zudem weitreichende Möglichkeiten in Bezug auf Effizienz und Umweltschutz. Durch Vernetzung und Vehicle-to-everything (V2X)-Kommunikation können die zukünftigen intelligenten Fahrzeuge Informationen austauschen und kooperativ interagieren. Dies führt zu reduziertem Energieverbrauch und stellt die Grundlage für eine bedarfsgerechte nachhaltige Mobilität dar. Hierbei entstehen cyber-physische Verkehrssysteme mit hoher Komplexität [1].

Die Entwicklung solcher Fahrzeuge stellt eine enorme Herausforderung dar und ist mit konventionellen Methoden nicht mehr realisierbar. Daher werden vermehrt szenarienbasierte Entwicklungs- und Testmethoden eingesetzt [2]. Insbesondere die Echtzeitsimulation der entstehenden komplexen Systeme ist ein

wesentlicher Bestandteil der Entwicklung. Hierfür müssen sämtliche relevanten Verkehrsteilnehmer sowie die Sensordatenerfassung und Kommunikation in der Simulation abgebildet werden.

Zur Forschung an den entstehenden neuartigen intelligenten Fahrzeugen und Systemen wird an der Ostfalia sukzessive im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte der Autonome rekonfigurierbare Funktionsträger für nachhaltige Mobilität (AURONA) entwickelt und aufgebaut. Dieser Beitrag fasst das Konzept sowie erste Ansätze der Realisierung zusammen.

Der weitere Beitrag ist wie folgt aufgebaut. Zunächst wird im Abschnitt 1 der strukturierte, modellbasierte, verifikationsorientierte Rapid Control Prototyping (RCP)-Entwicklungsprozess für vernetzte cyber-physische Systeme detailliert beschrieben. Anschließend werden in Abschnitt 2 relevante Forschungen zu Funktionsträgern und Sensorik für autonomes Fahren beleuchtet. Der dritte Abschnitt umfasst die Anforderungsdefinition, Systemstrukturierung und Aufbau der Systemarchitektur von AURONA. In Abschnitt 4 wird schließlich die Realisierung der Konzepte vorgestellt, einschließlich Details zu Antrieb, Tragstruktur und Echtzeitdatenverarbeitung. Eine grundlegende Funktionsvalidierung wird in Abschnitt 5 behandelt. Der Beitrag schließt in Abschnitt 6 mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf zukünftige Forschungen und Entwicklungen.

## 1 Methodik

Zur Beherrschung der Systemkomplexität wird der strukturierte, modellbasierte, verifikationsorientierte Rapid Control Prototyping (RCP) Entwicklungsprozess eingesetzt. Hierbei erfolgt zur Reduktion der Komplexität zunächst die Strukturierung des Gesamtsystems unter Anwendung von Modularisierung und Hierarchisierung in intelligente gekapselte Teilsysteme mit definierten Schnittstellen. In einem Top-Down-Verfahren werden

die Funktionalitäten systematisch zerlegt und in den vier Ebenen Mechatronisches Funktionsmodul (MFM), Mechatronische Funktionsgruppe (MFG), Autonomes Mechatronisches System (AMS) und Vernetztes Mechatronisches System (VMS) hierarchisch angeordnet [3].

Der anschließende ganzheitliche, durchgängig modellbasierte Entwicklungs- und Absicherungsprozess beinhaltet Model-in-the-Loop- (MiL-), Software-in-the-Loop- (SiL-), und Hardware-in-the-Loop- (HiL-) Simulationen (vgl. Abbildung 1). Die HiL-Simulation ist dabei zu einem wesentlichen Bestandteil des Freigabeprozesses für die Software von Steuergeräten geworden [4].

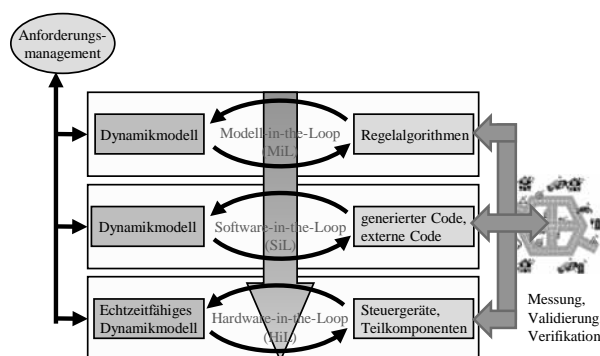


Abbildung 1: Ganzheitlicher modellbasierter Funktionsentwicklungs- und Testprozess [4].

In den Ebenen MiL und SiL werden die Regelfunktionen modellbasiert entworfen und mit definierten Schnittstellen in die Modelle der zu regelnden Strecke integriert. Entsprechend den vorgegebenen Spezifikationen und gewünschten Funktionen werden bereits in frühen Entwicklungsphasen Tests durchgeführt. Die Simulationsergebnisse aus MiL / SiL werden mittels HiL-Simulation in einer Echtzeitumgebung weiter validiert und optimiert. Dabei wird immer wieder auf die vorhergehende Ebene zurückgegriffen, um Fehlerquellen zu beseitigen und gewünschte Funktionen zu realisieren. Während aller Prozessschritte finden Identifikations- und Validierungsmessungen am realen System statt [5]. Hierzu werden Prüfstände und Funktionsträger eingesetzt.

## 2 Stand des Wissens

Die Entwicklung autonomer Fahrzeugtechnologien hat in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte gemacht, insbesondere in städtischen und komplexen Verkehrsumgebungen, wo die Herausforderungen besonders groß sind. Trotz der Fortschritte in der Sensortechnologie, der Datenverarbeitung und der künstlichen Intelligenz bleibt die

sichere Navigation autonomer Fahrzeuge in solchen Umgebungen eine ungelöste Problemstellung, die fortlaufende Forschung und Innovation erfordert. Im Folgenden werden relevante Forschungen zu Funktionsträgern sowie zur Sensorik autonomer Fahrzeuge eingeführt.

### 2.1 Funktionsträger für autonomes Fahren

Im Rahmen der Forschung an autonomen Fahrfunktionen sind verschiedene Versuchsträger und Prototypen entwickelt worden, um innovative Ansätze aufzuzeigen. Im Folgenden wird kurz auf ausgewählte relevante Fahrzeuge eingegangen.

Das Research Vehicle for Automated and Intelligent driving in ON-street applications (RAION, ehemals PLUTO) der TU Braunschweig soll als Demonstrator für ein autonomes Shuttle fungieren. Durch mehrere Radar-, LiDAR- und Kamerasensoren wird, wie beim Vorgängerfahrzeug „TEASY 3“, eine 360° Rundumsicht ermöglicht [6]. Als Zentralrechner wird eine Scalexio AutoBox von dSPACE eingesetzt [7].

Das Verbundprojekt UNICARagil forciert die Erforschung neuartiger modularer Strukturen für automatisierte Fahrzeugkonzepte [8]. Die Ergebnisse sehen eine dezentrale intelligente Struktur vor, welche dem menschlichen Gehirn nachempfunden ist. Aufbauend auf den Projektergebnissen ist unter anderem der Versuchsträger Edgar der TU München (vgl. [9]) entstanden.

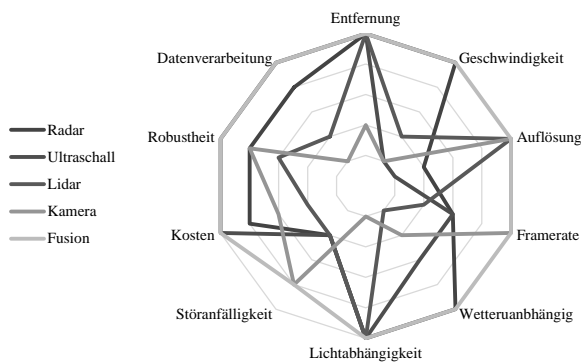
Das OPA<sup>3</sup>L-Projekt an der Universität Bremen setzt ein Hybridfahrzeug zur Erforschung urbaner autonomer Fahranwendungen ein [10]. Dieses Forschungsfahrzeug ist mit einer Vielzahl von Sensoren ausgestattet. Dazu gehören sechs Ibeo ScaLa LiDAR-Sensoren, eine Kamera im Windschutzscheibenbereich, vier ValeoVis Flächenkameras und ein Global Navigation Satellite System (GNSS). Zusätzlich liefert eine ADIS 16488 Inertiale Messeinheit (IMU) präzise Beschleunigungs- und Gyroskopdaten. Die Berechnungen werden von einem Bordcomputer mit einem Intel Core i9-9900K CPU und zwei NVIDIA GeForce RTX 2080 Ti GPUs durchgeführt.

### 2.2 Sensorik für autonome Fahrzeuge

Im Bereich der Sensorik und Sensordatenverarbeitung für autonome Fahrzeuge haben sich in den letzten Jahren bedeutende Fortschritte vollzogen. Durch den Einsatz moderner Sensordatenfusionen und künstlicher Intelligenz lassen sich Messergebnisse der eingesetzten LiDAR-, Radar-, Kamera- und Ultraschallsensoren auswerten und zu einem digitalen Zwilling der realen

Umgebung integrieren. Der Stand des Wissens in diesem Bereich spiegelt sich in kontinuierlichen Innovationen und Verbesserungen, die nicht nur die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit der Sensoren erhöhen, sondern auch neue Anwendungsfelder in der Mobilität und darüber hinaus erschließen wieder.

Wie bereits aus [11] hervorgeht, lassen sich nicht alle für die autonome Fahrt notwendigen Informationen aus einem Sensor ermitteln. Daher ist stets eine Sensordatenfusion notwendig. Abbildung 2 verdeutlicht den Hintergrund, durch Analyse verschiedener Sensortypen. Hierbei wird die Eignung zur Messung von Entfernung und Geschwindigkeiten sowie die erzielte Auflösung und Framerate beurteilt. Weitere Randbedingungen wie Wetterabhängigkeit und Robustheit geben einen Überblick über mögliche Einsatzgebiete. Nach [12] werden für autonome Fahrzeuge der Stufen 4 und 5 im Straßenverkehr unter anderem 8 Radar-, ein Lidar-, 5 Kamerasensoren benötigt.



**Abbildung 2:** Analyse verschiedener Sensoriken für autonome Fahrzeuge in Anlehnung an [13].

Weiterhin kommt GNSS zur Positionsbestimmung zum Einsatz. Dessen Genauigkeit lässt sich durch Einsatz eines Real Time Kinematic (RTK) Systems auf unter einem Meter steigern [14]. Ein weiterer wesentlicher Faktor zur Informationsbeschaffung ist die V2X-Kommunikation, welche insbesondere durch Einsatz von 5G-Technologie einen Datenaustausch über weite Entfernungen ermöglicht [15].

### 3 Konzeption

Im folgenden Abschnitt erfolgt die Konzeption des Funktionsträgers AURONA, indem zunächst Anforderungen definiert und anschließend eine Systemstruktur abgeleitet wird. Zuletzt wird die Systemarchitektur aufgebaut.

#### 3.1 Anforderungen an den Funktionsträger

AURONA soll als Funktionsträger für autonome Fahrfunktionen und nachhaltige Mobilität agieren. Für die Forschung in diesem agilen Themenfeld ist die Rekonfigurierbarkeit und Flexibilität von besonderer Bedeutung.

Im Kern werden zur Erfüllung der übergeordneten Ziele folgende Anforderungen an AURONA gestellt:

1. Modulare Architektur mit offenen energetischen und informationstechnischen Schnittstellen sowie eingebauten Sicherheitsvorrichtungen.
2. Leistungsfähiges RCP-System mit KI-Eignung zur prototypischen Realisierung und Untersuchung innovativer Funktionen.
3. Sensorik zur 360° Umfelderkennung im Nah- und Fernbereich sowie 5G-basierte V2X-Kommunikation.
4. X-by-Wire-Aktorik für Antrieb, Bremse und Lenkung.
5. Elektrischer Antriebs mit radindividuellem Traktionsmotor.

#### 3.2 Beitrag zur nachhaltigen Mobilität

Autonomes kooperatives Fahren ermöglicht eine optimale Nutzung vorhandener und zukünftiger Verkehrsressourcen. Fahrzeuge können in Echtzeit miteinander kommunizieren, um den Verkehrsfluss zu verbessern und Staus zu vermeiden. Dies reduziert nicht nur die Fahrzeiten, sondern auch den Energieverbrauch erheblich. Ein weiteres Beispiel für nachhaltige Mobilität sind bedarfsgerechte autonome Shuttles, die in Kolonne fahren können. Im Gegensatz zu herkömmlichen, getakteten Verbindungen, die insbesondere zu Randzeiten wenig ausgelastet und ineffizient sind, passen sich diese Shuttles flexibel an den tatsächlichen Bedarf an. Dies führt zu einer effizienteren Nutzung der Fahrzeuge und einer signifikanten Reduktion des Energieverbrauchs.

Durch den modularen Aufbau und die flexible Architektur von AURONA können verschiedene Funktionen für nachhaltige Mobilität erforscht werden. Dies umfasst unter anderem die Integration und Testung von fortschrittlichen Sensordatenerfassungs- und -verarbeitungssystemen sowie die Entwicklung neuer kooperativer Fahrfunktionen. AURONA dient als Plattform zur Erforschung und Validierung dieser Technologien, die das Potenzial haben, die Umweltbelastung durch den Verkehr erheblich zu reduzieren. Somit wird durch AURONA ein direkter Beitrag zur Entwicklung zukunftsorientierter nachhaltiger Mobilität geleistet.

### 3.3 Strukturierung

Wie in Abschnitt 1 eingeführt ist die Strukturierung des Systems eine wesentliche Voraussetzung zur Reduktion der Komplexität und ermöglicht eine Rekonfigurierbarkeit. Abbildung 3 illustriert daher die zur Erfüllung der im Vorfeld beschriebenen Anforderungen forcierte mechatronische Strukturierung des Funktionsträgers AURONA. Auf der untersten und vitalsten Ebene MFM sind grundlegende Funktionen für Antrieb, Bremse, Lenkung, Batteriemangement, etc. vorhanden. Durch informationstechnische Kopplung werden auf der Ebene MFG höherwertige Funktionalitäten wie die integrierte Fahrdynamikregelung oder das Energiemanagement erzielt. Die übergeordnete Ebene AMS integriert diese MFG zum intelligenten autonomen Fahrzeug AURONA. Durch Vernetzung mit anderen autonomen Fahrzeugen entsteht schließlich die oberste Ebene VMS.

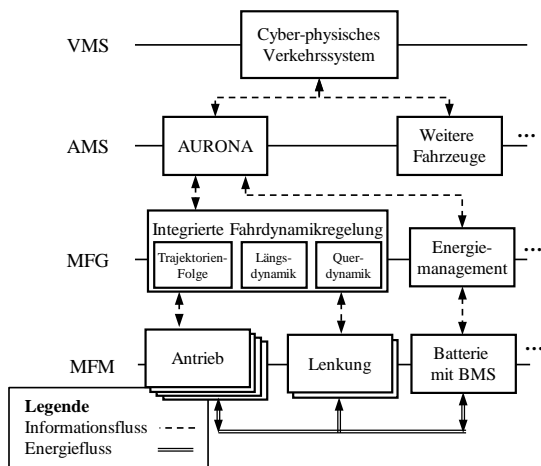


Abbildung 3: Mechatronische Strukturierung des Funktionsträgers AURONA.

### 3.4 Systemarchitektur

Die Systemarchitektur des Funktionsträgers AURONA ist speziell für die Integration und das Testen autonomer Fahrfunktionen konzipiert. Der zentrale Aspekt dieser Architektur ist ihre Modularität und Skalierbarkeit, welche es ermöglicht, verschiedene Sensoren und Aktoren effizient zu integrieren. AURONA verwendet eine fortschrittliche Elektrik/Elektronik-Architektur (E/E-Architektur). Abbildung 4 fasst die Systemarchitektur des Versuchsträgers zusammen. Diese erlaubt es, eine Vielzahl von Sensoren für die Umgebungserfassung wie LiDAR, Radar, Kamera und Ultraschallsensoren zu unterstützen. Zusätzlich verfügt AURONA über ein echtzeitfähiges Bussystem, welches die Kommunikation zwischen den

einzelnen Systemkomponenten ermöglicht.

Die Architektur von AURONA setzt ebenfalls auf eine serviceorientierte, zentralisierte Verarbeitungsstruktur mit definierten Verantwortlichkeiten, die eine effiziente Datenverarbeitung und eine hohe Rechenkapazität bereitstellt. Dies wird durch den Einsatz leistungsfähiger Recheneinheiten unterstützt, die in der Lage sind, komplexe Algorithmen für das autonome Fahren zu verarbeiten. Der Einsatz eines RCP-Systems ermöglicht es, Simulationen und reale Tests nahtlos zu integrieren, wodurch eine kontinuierliche Verbesserung und Validierung der autonomen Systeme gewährleistet wird. Diese robuste und erweiterbare Systemarchitektur ermöglicht es AURONA, als hochflexibler Versuchsträger für Forschung und Entwicklung in der Mobilität der Zukunft zu dienen.

## 4 Realisierung

Der Funktionsträger AURONA wurde als hochmoderne Plattform zur Erforschung und Entwicklung autonomer Fahrfunktionen konzipiert. Nach der detaillierten Planung und konzeptuellen Entwicklung, die in den vorherigen Abschnitten beschrieben wurden, fokussiert dieser Abschnitt die technische Umsetzung der Systemarchitektur, einschließlich der Integration von Antriebskomponenten, Sensorik und Kommunikationssystemen.

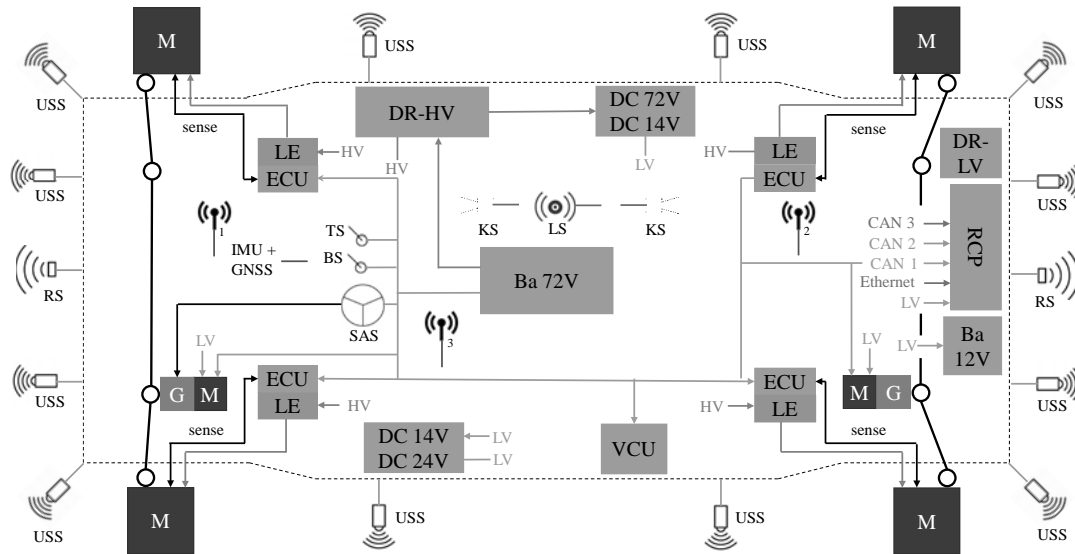
### 4.1 Antrieb und Tragstruktur

AURONA verfügt über vier Radnabenantriebe mit einer Gesamtleistung von 15,2 kW sowie separat lenkbare Front- und Hinterachsen. Antrieb, Bremse und Lenkung lassen sich by-Wire und somit durch die Informationsverarbeitung ansteuern.

Abbildung 5 illustriert den realisierten Funktionsträger. Dieser bietet sowohl die Möglichkeit autonom zu fahren als auch manuell über eine Fernsteuerung oder ein klassisches Lenkrad / eine Pedalerie bedient zu werden.

### 4.2 Echtzeitdatenverarbeitung

Auf der Verarbeitungsseite verfügt AURONA über einen leistungsstarken RCP fähigen Rechner vom Typ dSPACE Autera, der mit einem Intel Core i9-Prozessor und einer NVIDIA GeForce RTX A2000 Grafikkarte ausgestattet ist. Diese Hardwarebasis ermöglicht es,



**Legende**

- USS – Ultraschallsensor
- IMU – Beschleunigungssensor
- GNSS – globales Navigationssatellitensystem
- LS – Lidarsensor
- RS – Radarsensor
- KS – Kamerasensor
- TS – Gaspedalsensor
- BS – Bremsensensor
- SAS – Lenkwinkelsensor
- Ba – Batterie
- HV – Hochvoltnetz
- LV – Niedervoltnetz
- LE – Leistungselektronik
- ECU – Motorsteuergerät
- VCU – Fahrzeugsteuergerät
- Autera – RCP-System
- DS – Verteilerschiene
- RCP – RCP-System
- M – Motor
- G – Getriebe
- Antenne 1 - Vector Antenne
- Antenne 2 – Position Antenne
- Antenne 3 – 4G

**Abbildung 4:** Systemarchitektur von AURONA.

komplexe Algorithmen zur Datenverarbeitung und Entscheidungsfindung und KI-basierte Funktionen in Echtzeit auszuführen. Weiterhin ist das Fahrzeug mit einem 5G-basierten V2X-Kommunikationssystem ausgestattet.



**Abbildung 5:** Realisierter Funktionsträger.

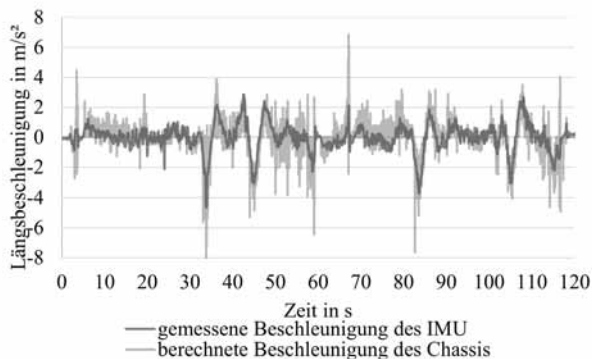
**4.3 Sensorik**

Der Funktionsträger AURONA wurde speziell für die Erforschung und Entwicklung intelligenter autonomer Fahrsysteme entworfen. Zu den zentralen Komponenten des Fahrzeugs gehören ein zentraler LiDAR-Sensor des Typen Robosense Helios-16P, welcher eine 360-Grad-Erfassung der Umgebung ermöglichen, sowie zwei Radarsensoren vom Typ Continental ARS 408-21 für die frontale und rückwärtige Fernerkennung. Diese werden ergänzt durch zwei hochauflösende Kamerasysteme Leopard Imaging IMX490-GW5400-GM, die sowohl an der Front als auch am Heck des Fahrzeugs angebracht sind, um visuelle Daten zu erfassen und Verkehrszeichen sowie Hindernisse zu identifizieren und zu klassifizieren. Zudem ist ein integriertes Sensorsystem CGI-610 mit hochauflösender IMU zur Messung der Beschleunigung und Gierraten in 6 Freiheitsgraden sowie einem GNSS-System mit RTK-Funktionalität zur hochgenauen Positionsbestimmung vorhanden.

## 5 Verifikation

In diesem Abschnitt wird die Verifikation der grundlegenden Funktionen des Versuchsträgers diskutiert. Exemplarisch wird das Vorgehen anhand ausgewählter Sensoriken aufgezeigt. Die Verifikation der Sensorfunktion ist ein erster entscheidender Schritt in der Entwicklung und Implementierung von autonomen Systemen, insbesondere Fahrzeugen. Dieser Prozess stellt sicher, dass die Sensoren unter verschiedenen realen Bedingungen präzise und zuverlässig funktionieren. Durch systematische Tests und Analysen werden die Leistungsfähigkeit und die Genauigkeit der Sensoren in verschiedenen Umgebungen und Szenarien überprüft.

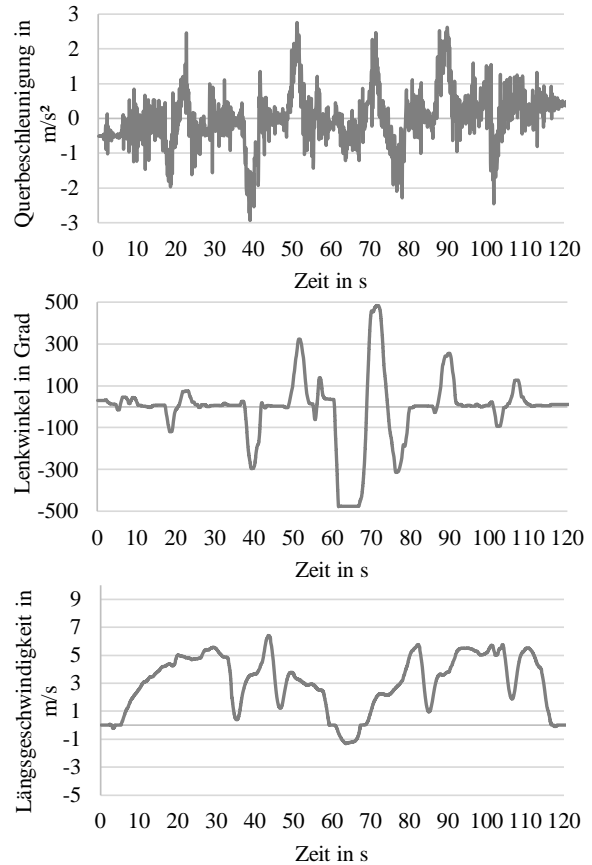
Im ersten diskutierten Versuch wird die Längsbeschleunigung des Fahrzeugs betrachtet. Zum einen erfolgt die direkte Messung über die integrierte IMU zum anderen die Berechnung auf Basis der Raddrehzahlen. Abbildung 6 stellt die zeitlichen Verläufe beider Signale während einer Testfahrt gegenüber. Beide Verläufe stimmen mit hoher Genauigkeit überein.



**Abbildung 6:** Zeitliche Verläufe der Längsbeschleunigung während einer Messfahrt.

Weitere Versuche wurden zur Analyse der Querdynamik durchgeführt. Abbildung 7 illustriert die zeitlichen Messverläufe von Querbeschleunigung, Lenkwinkel und Längsgeschwindigkeit über der Zeit. Die zeitlichen Verläufe sind konsistent und weisen eine Korrelation zu den angenommenen physikalischen Prinzipien auf. So ist beispielsweise der geschwindigkeitsabhängige Zusammenhang zwischen Lenkwinkel und Querbeschleunigung deutlich erkennbar.

Die gemessenen Daten passen sehr gut zu den theoretischen Annahmen. Weitere Versuche zur Validierung der Funktionen zeigten ähnliche vielversprechende Ergebnisse.



**Abbildung 7:** Zeitliche Messdatenverläufe der Querdynamik während einer Probefahrt.

## 6 Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Beitrag wurde der autonome rekonfigurierbare Funktionsträger für nachhaltige Mobilität, kurz AURONA, vorgestellt. Durch den Einsatz modernster Technologien und die Anwendung modellbasierter Methoden konnte ein rekonfigurierbares Forschungsobjekt für die Echtzeituntersuchung geschaffen werden. Die Kombination aus fortschrittlicher Sensorik und V2X-Kommunikation ermöglicht eine umfassende Umgebungserfassung und Interaktion mit anderen autonomen Fahrzeugen in einem vernetzten cyber-physischen Verkehrssystem.

Die Ergebnisse der ersten Echtzeitsimulationen und Tests belegen, dass AURONA die gestellten Anforderungen an Flexibilität und Rekonfigurierbarkeit erfüllt und sich als hochmoderner Versuchsträger für verschiedene Mobilitätsszenarien eignet. Dies unterstreicht das Potenzial von AURONA, zentrale Herausforderungen in der

autonomen Fahrzeugtechnologie anzugehen und zur Sicherheit und Effizienz im Verkehr beizutragen.

Zukünftige Arbeiten werden sich darauf konzentrieren, die Interoperabilität von AURONA in größeren, vernetzten cyber-physischen Verkehrssystemen zu testen und zu optimieren. Dies beinhaltet auch die Weiterentwicklung von Algorithmen der modernen Regelungstechnik und der künstlichen Intelligenz, um autonome Fahrfunktionen unter variablen Umgebungsbedingungen zu verbessern. Langfristig soll AURONA als Basis für die Entwicklung weiterer autonomer Systeme dienen, die spezifische Anforderungen unterschiedlicher Mobilitäts- und Transportaufgaben erfüllen können und somit einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Mobilität leisten.

### Danksagung

Gefördert vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur unter Fördernummer ZN3495 im Niedersächsischen Vorab der VolkswagenStiftung und betreut vom Zentrum für digitale Innovationen Niedersachsen (ZDIN).



### Literatur

- [1] Göllner M, Jacobitz S, Li T, Liu-Henke X. Modular Platform for Route Guidance in the Cyber-Physical Laboratory Test. *SNE*. 2023;33(1):45–52.
- [2] Liu-Henke X, Jacobitz S, Göllner M, Zhang J. Concept of a holistic HiL test system for autonomous vehicles in cyber-physical Traffic Systems. In: *The 3rd International Conference on Computers and Automation (CompAuto 2023)*, 2023.
- [3] Liu-Henke X. *Mechatronische Entwicklung der aktiven Feder-/Neigetechnik für das Schienenfahrzeug RailCab*. Dissertation, Universität Padaborn, 2005. Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12, Verkehrstechnik/Fahrzeugtechnik. Vol. 589. Düsseldorf: VDI-Verl., 2005.
- [4] Liu-Henke X, Jacobitz S, Scherler S, Göllner M, Yarom O, Zhang J. A Holistic Methodology for Model-based Design of Mechatronic Systems in Digitized and Connected System Environments. In: *Proceedings of the 16th International Conference on Software Technologies*. SCITEPRESS - Science and Technology Publications, 2021:215–223.
- [5] Scherler S. *Zeit- und energieoptimierter Fahrbetrieb eines Elektrofahrzeugs mit Brennstoffzellen-Range-Extender im digital vernetzten Verkehr*. Dissertation.

Technische Universität Braunschweig, Shaker Verlag, 2022.

- [6] Kascha M, Henze R. Modular Decision Making Framework for Level 4 Applications in Automated Driving. In: *2023 29th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP)*. IEEE, 2023:1–6.
- [7] Everding L, Aslam I, Raulf C, Aviv Yarom O, Fritz J, Jacobitz S, Hegerhorst T, Pethe C, Şahin T, Iatropoulos J, Vietor T, Rausch A, Liu-Henke X, Henze R. Dynamically Configurable Autonomous Vehicles for Urban Cargo Transportation. In: Proff H, editor. *Towards the New Normal in Mobility*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2023:851–869.
- [8] Woopen T, Eckstein L, Kowalewski S, Moormann D, Maurer M, Ernst R, Winner H, Katzenbeisser S, Becker M, Stiller C, Furmans K, Bengler K, Lienkamp M, Reuss H-C, Dietmayer K, Lategahn H, Siepenkötter N, Elbs M, v. Hinüber E, Dupuis M, Hecker C. UNICARagil - Disruptive modulare Architektur für agile, automatisierte Fahrzeugkonzepte. In: Eckstein L, Pischinger S, Hammermüller B, Wolsfeld R, editors. *27. Aachen Colloquium Automobile and Engine Technology*. Aachen: Institute for Automotive Engineering RWTH Aachen, 2018.
- [9] Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik, TU München. EDGAR - Excellent Driving Garching. 2024. <https://www.mos.ed.tum.de/ftm/forschungsfelder/team-av-perception/edgar/>. [Accessed 11 April 2024].
- [10] Folkers A, Wellhausen C, Rick M, Li X, Evers L, Schwarting V, Clemens J, Dittmann P, Shubbak M, Bustert T, Zachmann G, Schill K, Buskens C. The OPA<sup>3</sup>L System and Testconcept for Urban Autonomous Driving. In: *2022 IEEE 25th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)*. IEEE, 2022:1949–1956.
- [11] Göllner M, Liu-Henke X. Realisierung einer Datenfusionsstruktur für die Umfeldperzeption autonomer Fahrzeuge. In: *Tagungsband ASIM Workshop STS/GMMS 2019*. ARGESIM, 2019.
- [12] Karil M. *Auto tankt Internet: Auswirkungen des automatisierten und vernetzten Fahrens auf den Energieverbrauch von Fahrzeugen, Datenübertragung und Infrastruktur*, 2020.
- [13] Rice C. AV and ADAS Sensors. 2021. <https://community.sw.siemens.com/s/article/AV-and-ADAS-Sensors>. [Accessed 19 April 2024].
- [14] Zhang Z, Li Y, He X, Hsu L. Resilient GNSS real-time kinematic precise positioning with inequality and equality constraints. *GPS Solut.* 2023;27(3).
- [15] Scherler S, Jacobitz S, Liu-Henke X, Henke M. Cloud-based V2X communication for dynamic intelligent guidance in connected traffic systems. In: *2021 IEEE International Symposium on Systems Engineering (ISSE)*. IEEE, 2021:1–7.