

# Definierte Forschungsfragen & Anwendungsfälle für die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen und -systemen



Eingereicht am: 21.03.2021  
Eingereicht von: Sebastian Kuschmitz Autor\*in: CRF 3  
Zentrum für digitale Innovationen Niedersachsen (ZDIN)

## Inhaltsverzeichnis

1	Generelle Informationen .....	3
1.1	Zusammenfassung .....	3
1.2	Beitragende Arbeitspakete zum vorliegenden Deliverable .....	4
2	Ausführungen .....	5
2.1	Einleitung .....	5
2.2	Statusberichte der beteiligten CRF1-Partner .....	5
2.2.1	TU Braunschweig .....	5
2.2.2	Ostfalia HaW .....	7
2.2.3	Universität Oldenburg .....	8
2.2.4	TU Clausthal .....	10
3	Weiterführende Veröffentlichungen .....	13
4	Literaturverzeichnis .....	13
5	Anhang .....	14

# 1 Generelle Informationen

Das vorliegende Dokument bildet die formale Unterstützung, um ein Deliverable auf Arbeitspaketebene und als Ganzes zu bilanzieren.<sup>1</sup>

## 1.1 Zusammenfassung

Form und Inhalt: halbseitige Zusammenfassung des gesamten Ergebnisdokuments als kurzer Überblick der Marketing- und Kommunikationsstelle des ZDIN einen Einblick in die Forschungsarbeit geben. Die Berücksichtigung technischer Details steht hier ebenso wenig im Vordergrund, wie detaillierte Erläuterungen zu einzelnen Arbeiten.

- Problemstellung und Motivation
- Grundlagen und Definitionen
- Methodisches Vorgehen
- Resultate
- Schlussfolgerungen und Ausblick

---

<sup>1</sup> Ein Teilprojekt setzt sich aus Deliverables zusammen. Jedes Arbeitspaket beinhaltet mehrere Tasks.

## 1.2 Beitragende Arbeitspakete zum vorliegenden Deliverable

Kriterium: Bitte fügen Sie nötigenfalls weitere Tabellen hinzu, um alle Arbeitspakete abzubilden, die in diesem Zusammenhang vollständig bearbeitet wurden.

### [Titel/ Kennnummer des Arbeitspakets]

Beteiligte Partner*innen	[Partner*innen auf Task-Ebene]
Bearbeiter*in	[Bearbeiter*in auf Task-Ebene]
Praxispartner	[Namen, Firmierung der beteiligten Praxispartner auf Task-Ebene]
Beginn der Arbeiten Einreichungsdatum bzw. Frist	[Bearbeitung der Task von MM.JJJJ bis MM.JJJJ]

### [Titel/ Kennnummer des Arbeitspakets]

Beteiligte Partner*innen	[Partner*innen auf Task-Ebene]
Bearbeiter*in	[Bearbeiter*in auf Task-Ebene]
Praxispartner	[Namen, Firmierung der beteiligten Praxispartner auf Task-Ebene]
Beginn der Arbeiten Einreichungsdatum bzw. Frist	[Bearbeitung der Task von MM.JJJJ bis MM.JJJJ]

### [Titel/ Kennnummer des Tasks Arbeitspakets]

Beteiligte Partner*innen	[Partner*innen auf Task-Ebene]
Bearbeiter*in	[Bearbeiter*in auf Task-Ebene]
Praxispartner	[Namen, Firmierung der beteiligten Praxispartner auf Task-Ebene]
Beginn der Arbeiten Einreichungsdatum bzw. Frist	[Bearbeitung der Task von MM.JJJJ bis MM.JJJJ]

## 2 Ausführungen

Im folgenden Abschnitt werden Vorgehensweise und Ergebnisse der Arbeiten im Collaborative Research Field 1 *Smart Mobility Systems and Technologies* (CRF1) zusammengefasst.

### 2.1 Einleitung

Im Zentrum der Arbeiten des CRF1 steht die Untersuchung der Wechselwirkungen zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur im Sinne des System of Systems Konzept. Ziel der interdisziplinären Arbeiten ist es, modellbasierte Entwicklungs- und Absicherungsmethoden sowie Methoden für die lebenszyklusorientierte Planung und Gestaltung heterogener Verkehrssysteme und -funktionen zu entwickeln und zu demonstrieren. Verbindendes Element ist hierbei die kontinuierliche Rekonfiguration und Evolution von Hard- und Softwaresystemen während der Nutzungsphase. Entsprechend der Arbeitsplanung des Antrags lag der Schwerpunkt im Berichtszeitraum auf der Beschreibung des aktuellen Forschungsstandes, hierzu wurden innerhalb der einzelnen Teilprojekte konkrete Forschungsfragen formuliert und geeignete Anwendungsfälle definiert. Anhand der Anwendungsfälle sollen Lösungen zu den formulierten Forschungsfragen erarbeitet und evaluiert werden, gleichzeitig dienen die Anwendungsfälle für die Demonstration erarbeiteter Methoden und die Einbindung von Industriepartnern.

### 2.2 Statusberichte der beteiligten CRF1-Partner

Im CRF Smart Mobility Systems and Technologies sollen Entwicklungsmethoden für intelligente Fahrzeugsysteme und -funktionen erarbeitet und demonstriert werden, um die (Ressourcen-) Ausnutzung von Verkehrsträgern zu steigern. Grundlage der gemeinsamen Forschungsarbeiten sind folgende Fragestellungen und Herausforderungen (Stand zum Zeitpunkt der Antragstellung):

- Welche Fahrzeugfunktionen und -systeme werden für den automatisierten Fahrbetrieb in vernetzten Verkehrssystemen benötigt?
- Wie muss eine Methodik zur domänenübergreifenden Entwicklung von Fahrzeugfunktionen gestaltet sein?
- Wie können heterogene Systeme modelliert werden, um funktionale Wechselwirkungen aufzuzeigen?

Ausgehend von diesen übergeordneten Fragestellungen werden in den Teilprojekten (nachfolgend unterteilt nach CRF1-Partnern) konkrete Forschungsfragen abgeleitet und der entsprechende Forschungsstand dargestellt. Darin enthalten sind auch die für folgende Arbeiten fokussierten Anwendungsfälle.

#### 2.2.1 TU Braunschweig

Die immer stärkere Digitalisierung der Mobilität ermöglicht es den Anwendern, immer komfortabler zu reisen. Gerade im Bereich des Automobilverkehrs bahnt sich mit den Fortschritten bei autonomen Fahrfunktionen, Car to X Vernetzungen und Updates over the air eine Steigerung im Komfort des Anwenders an. Jedoch stellen diese Fortschritte immer höhere Anforderungen an die Absicherung der betroffenen Systeme. Darum beschäftigen wir uns am Institut für Softwaretechnik und Fahrzeuginformatik (ISF) damit, wie die funktionale Sicherheit dieser Systeme effizient abgesichert werden kann. Dabei konzentrieren wir uns auf zwei Kernthemen. Zum einen die Absicherung der

funktionalen Sicherheit mittels Sample-Based Testing, zum anderen damit wie die funktionale Sicherheit von Systemen mittels formaler Verifikation ermöglicht werden kann.

## **Beschreibung des aktuellen Forschungsstands unter Formulierung von Forschungsfragen**

### *Absichern der funktionalen Sicherheit von Systemen mittels Sample-Based Testing.*

Heutig Mobilitätslösungen sind nicht nur hochvernetzte, sondern auch hoch konfigurierbare Systeme. Testen aller Konfigurationen solcher Systeme ist aufgrund der kombinatorischen Explosion der Variantenzahl oft nicht realistisch umsetzbar. Somit ist die Absicherung der funktionalen Sicherheit im Fahrzeug bereits heute eine große Herausforderung. Erschwerend kommt hinzu, dass die zunehmende Digitalisierung und Weiterentwicklung autonomer Fahrfunktionen in zukünftigen Mobilitätslösungen, höhere Absicherungsstandards und immer schnellere und flexiblere Updatezyklen erfordern werden. Angesichts der heute schon stark ausgelasteten Testressourcen in der Industrie stellt sich die Frage, wie können die vorhandenen Testressourcen effektiver und effizienter genutzt werden. Aus dieser Problemstellung ergeben sich folgende Leitfragen der Forschung:

*FF1: Kann die Fehlerfindungsrate im Integrationstest für hochkonfigurierbare Systeme durch eine Testfallauswahl basierend auf einer Change Impact Analyse der Architektur erhöht werden?*

In vorhergehenden Arbeiten zur Test-Priorisierung von Varianten mittels einer Change-Impact-Analyse auf Architektur-Modellen konnten wir zeigen, dass 5 bis 10 Prozent an Varianten im Vergleich zur herkömmlichen Priorisierung durch den Samplingalgorithmus eingespart werden können [1]. In einer Folgearbeit untersuchen wir, wie sich die Anwendung einer Change-Impact-Analyse auf die Auswahl von Integrationstests für die Varianten auswirken kann. Wir ordnen Testfälle des Integrationstests zu Komponenten in den Architekturmodellen und Features aus dem Variabilitätsmodell zu. Basierend auf den in Vorarbeiten berechneten Risikowerten [1] werden die Testfälle für eine Variante-priorisiert. Diese Fragestellung wird momentan in einer studentischen Projektarbeit bearbeitet.

*FF2: In wie weit unterstützen Sampling-Strategien den Re-Test oder das explorative Testen im sample basierten Regressionstest?*

Bei der Auswahl von zu testenden Varianten (Sampling) müssen sich Tester oftmals entscheiden, ob sie zuvor getestete Varianten erneut testen, um Effekte eines Updates auf diese Varianten zu sehen, oder ob neue Varianten getestet werden sollen, um den Variantenraum weiter zu explorieren. Jedoch unterstützen heutige Metriken zur Bewertung von Samplingverfahren diese Unterscheidung nicht. Um in Zukunft Unterscheidung dieser Art zu unterstützen, haben wir in einer Forschungsarbeit das Sample-Kriterium Sampling Stability eingeführt [2]. Die Sampling Stability für einen Samplingalgorithmus wird gemessen, indem die Ähnlichkeit von Samples über die Zeit betrachtet wird. Die Resultate dieser Arbeit zeigen für ein Echt-Welt-System, dass es generelle Unterschiede in der Stabilität von Sampling-Algorithmen gibt. Um diese Aussage weiter zu validieren, haben wir vier weitere Echt-Welt Systeme innerhalb einer studentischen Projektarbeit untersucht. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen dieselben Unterschiede zwischen den Samplingalgorithmen. In weiteren Forschungen betrachten wir die Auswirkungen von Änderungen am Variabilitätsmodell auf die Stabilität der evaluierten Samplingalgorithmen.

### *Nachweis von funktionaler Sicherheit von Fahrfunktionen mittels formaler Verifikation:*

Ein Schlüsselaspekt bei der Entwicklung von Fahrzeugfunktionen nach vorgegebenen Anforderungen ist die funktionale Sicherheit unter Berücksichtigung der ISO 26262. Besonders schwierig – trotz ihrer Relevanz - ist dabei der Einsatz formaler Methoden zum Nachweis der Korrektheit der Fahrzeugfunktionen bezüglich der Spezifikation. Dies liegt zum einen am fehlenden Expertenwissen und großer Komplexität der Modellierung, aber auch an der direkten Integration formaler Methoden

in den Entwicklungsprozess, um beispielsweise Modularität und Wiederverwendung von Verifikationsresultaten zu fördern.

Um dieser Komplexität entgegenzuwirken, ist unsere Annahme, dass Fahrzeugfunktionen auf der Granularitätsstufe von simplen Fahrmanövern zunächst in Isolation entwickelt und als korrekt bewiesen werden müssen, bevor die Ausführung in Kombination analysiert wird. Es ergibt sich daher für uns die folgende Forschungsfrage.

*FF1: Wie sieht eine geeignete Modellierungsnotation für Fahrmanöver aus, die zum einen ein hohes Maß an Abstraktion und Modularität besitzt, aber dennoch die frühe Erkennung von Modellierungsfehlern ermöglicht?*

Als Modellierungsnotation für Fahrmanöver haben sich sogenannte *Skillgraphen* als geeignet erwiesen. Ein *Skill* beschreibt dabei eine von einem Fahrzeug bereitgestellte Funktionalität und lässt sich dabei grob in Hardware (Sensor und Aktuator), Software (Planung) und Regelung einteilen. Ein Skillgraph ist dabei ein direkter azyklischer Graph, der die unterliegende Architektur weitestgehend abstrahiert und kommunizierende Skills in Beziehung setzt. Skills können zusätzlich mit formalisierten Sicherheitsanforderungen spezifiziert werden, die das modellierte Fahrmanöver einhalten muss. Durch die Formalisierung von Skillgraphen und den Sicherheitsanforderungen lassen sich bereits in der frühen Entwicklung von Fahrmanövern Probleme hinsichtlich der funktionalen Sicherheit aufdecken und erklären. Außerdem können einmal entwickelte Skills in mehreren Skillgraphen (und somit Fahrmanövern) wiederverwendet werden.

### **Fokussierte Anwendungsfälle für die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen und -systemen**

Die von uns erarbeiteten Forschungsfragen sowie dazu gehörenden Forschungsergebnisse sollen in Zukunft das Testen von Mobilitätslösungen effizienter gestalten. Durch die formale Verifikation von Fahrfunktionen kann erheblicher Testaufwand gespart werden, indem die funktionale Sicherheit der Systeme bewiesen werden kann, anstelle sie durch Testen zu zeigen. Durch unsere Forschung an Sample-Based Testing sehen wir Potenzial, heutige Testprozesse zu verbessern und effizienter zu gestalten. Konkret sehen wir Potenzial darin, Samples und dazugehörige Testfälle basierend auf Architekturdeltas zu berechnen und zu priorisieren, um so nur noch geänderte Systembestandteile testen zu müssen. Konkret können die Ergebnisse dieses Forschungsbereiches zur Absicherung von Updates in einem Update-Over-The-Air Setting genutzt werden. Die Forschungen zu Sampling Stability können dazu genutzt werden, Umbauaufwand an Teststationen zu minimieren, indem zu testende Samples nun nach ihrer Ähnlichkeit zum vorherigen Sample ausgewählt werden können. Durch den Einsatz des Sample-basierten Testens in einem Szenario-basierten Testsetting soll der manuelle Aufwand bei der Auswahl von Szenarien zur Absicherung von autonomen Fahrfunktionen stark reduziert werden.

### **2.2.2 Ostfalia HaW**

Schwerpunkt der Ostfalia HaW (Fachgruppe Regelungstechnik und Fahrzeugmechatronik, Prof. Dr.-Ing. Xiaobo Liu-Henke) im CRF 1 ist die modellbasierte Entwicklung innovativer intelligenter, hierarchischer Regelsysteme (z.B. infrastruktureoptimierte dynamische Zielführung, Sensordatenfusion mittels Machine-Learning und KI-Verfahren) in vernetzten cyber-physischen Systemen. Weitere Forschungsschwerpunkte sind das elektronische Batterie- und Energiemanagement sowie das integrierte intelligente Fahrzeugmanagement für autonome Elektro-Hybrid-Fahrzeuge. Zudem wird die Erweiterung der bewährten durchgängig modellbasierten Entwicklungsmethodik sowie eine CAE-

Entwicklungsplattform zur Behandlung vernetzter mechatronischer, cyber-physischer Systeme forciert. Hierzu gehört auch die Entwicklung komplexer Prüfsysteme sowie Versuchsträger für den RCP-Absicherungsprozess mittels Model-in-the-Loop, Software-in-the-Loop, Hardware-in-the-Loop und Drivingsimulator-in-the-Loop (DSiL).

Seit dem letzten Berichtszeitraum erfolgte neben einer weiterführenden Literaturrecherche und -analyse zu neuen wissenschaftlichen Ansätzen bezüglich Methoden, Prozessen sowie Werkzeugen für die modellbasierte Entwicklung und Absicherung von Fahrzeugsystemen und -funktionen schwerpunktmäßig die Optimierung und Echtzeit-Realisierung der Konzepte des cyber-physischen Labortestfelds für intelligente Mobilitätsanwendungen. In diesem Zusammenhang wurde mit der Validierung erarbeiteter Konzepte zur Erweiterung der mechatronischen Entwicklungsmethodik für KI-basierte Funktionen mit Machine-Learning begonnen. Zur Erweiterung eines Fahrsimulators für DSiL-Simulationen wurden Untersuchungen bezüglich automatisierter Umgebungsmodellierung durchgeführt. Im Rahmen der Forschungstätigkeiten erfolgte zudem in Kooperation mit dem IMW der TU Clausthal die Ausarbeitung und Einreichung einer Projektskizze mit dem Thema „Modellbasierte Systemkonzeption und Low-Cost Prototyping für Smart Products“ beim BMBF. Zudem stand die Assoziation von Praxispartnern zum Zukunftslabor im Fokus der Tätigkeiten.

### **Beschreibung des aktuellen Forschungsstands unter Formulierung von Forschungsfragen**

Für den automatisierten Fahrbetrieb übernehmen Fahrzeugfunktionen völlig neue Aufgaben. Diese sind teilweise nur durch den Einsatz von KI und Vernetzung realisierbar [3, 4]. Aus dieser Herausforderung ergeben sich hauptsächlich zwei Forschungsfragen, welche die Ostfalia (Fachgruppe Regelungstechnik und Fahrzeugmechatronik, Prof. Xiaobo Liu-Henke) im Rahmen der Forschungen des CRF 1 beantwortet:

*FF1: Welche Funktionen werden benötigt, um einen sicheren, energieoptimalen autonomen Fahrbetrieb in einem vernetzten cyber-physischen Verkehrssystem zu ermöglichen?*

*FF2: Wie können die benötigten KI-basierten domänenübergreifenden Funktionen kostengünstig, durchgängig modellbasiert unter Berücksichtigung der Echtzeitanforderungen entwickelt und abgesichert werden?*

Zur Beantwortung dieser Fragen wird das im Rahmen des ZL forcierte cyber-physische Labortestfeld genutzt. Zentraler Anwendungsfall ist eine autonome Mobilitätsplattform (AMP) für den Personentransport in einem vernetzten Verkehrssystem. Besonders relevant sind hierbei die Struktur und Kommunikation innerhalb des vernetzten Verkehrssystems. Nur über eine klare hierarchische Strukturierung mit definierten Schnittstellen sowie einer Vernetzung über große Entfernungen ergeben sich Vorteile wie die Minimierung des Energieverbrauchs von domänenübergreifenden autonomen Mobilitätskonzepten [5].

### **Fokussierte Anwendungsfälle für die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen und -systemen**

Schwerpunkt weiterer Arbeiten wird die Konkretisierung und Teilrealisierung des Anwendungsfalls AMP im Labortestfeld sein. Hierzu stehen insbesondere Ausbau der Konzepte und Echtzeit-Realisierung des Labortestfeldes im Fokus. Anhand des Anwendungsfalls werden Anforderungen zur domänenübergreifenden Entwicklung von Fahrzeugfunktionen sowie die Konzepte zur Erweiterung der bewährten durchgängigen mechatronischen Entwicklungsmethodik konkretisiert und erweitert.

## **2.2.3 Universität Oldenburg**



## Beschreibung des aktuellen Forschungsstands unter Formulierung von Forschungsfragen

Im Kern der Arbeiten der Universität Oldenburg im CRF 1 stehen Fragen der Vorhersage und sicheren Gestaltung von Wechselwirkungen zwischen Teilsystemen und über Systemgrenzen hinweg sowie die Wahrung der solcherart zugesicherten Systemqualität unter während der Systemlebensdauer wiederholt auftretender Anpassungen von Komponenten an wechselnde technische oder regulatorische Anforderungen und persönliche Nutzerpräferenzen. Als technologischer Ausgangspunkt hierfür dient das im Software Systems Engineering verbreitete Paradigma des kontraktbasierten Entwurfs, bei dem (1.) für jede Systemkomponente festgelegt wird, welche Erwartungen sie an die Eigenschaften ihrer Umgebung stellt und welche Eigenschaft sie unter diesen Umständen ihrer Umgebung garantiert, (2.) gezeigt wird, dass die Komponenten ihre jeweiligen Kontrakte erfüllen, (3.) gezeigt wird, dass die Kontrakte bezüglich ihrer Annahmen und Garantien wechselseitig zueinander passen und gemeinsam die gewünschten Gesamtsystemeigenschaften (beispielsweise Kollisionsvermeidung) implizieren. Dem im Zukunftslabor gegebenen Kontext reaktiver Software- und Hardwarekomponenten entsprechend sollten hierbei temporallogisch basierte Varianten [6] dieses generellen Kontraktparadigmas Verwendung finden, in denen die Annahmen an die Umgebung wie auch die Komponentengarantien logische Zusicherungen über zeitliches Interaktionsverhalten darstellen. Für derartige temporallogische Kontrakte wurden im Zukunftslabor an mehreren Teilsystemen hochautomatisierter Fahrfunktionen Anwendbarkeitstests durchgeführt, die zwei fundamentale Problemfelder aufzeigten:

1. Während für zahlreiche der zukünftig zentralen Komponententechnologien, insbesondere für maschinengelernte Objekterkennungssysteme und -klassifikatoren, lediglich statistische Testverfahren zur Prüfung der Kontrakterfüllung gemäß obigen Schritts (2.) verfügbar sind, gibt es derzeit kein einziges funktionierendes stochastisches Kontraktframework, welches darauf fußend tatsächlich eine Systemverifikation im Sinne des oben genannten Schritts (3.) erlauben würde. Die wesentlichen Vorschläge für quantitativ-stochastische Kontrakte verbieten stochastische Annahmen entweder von vorneherein [7] oder erlauben sie zwar syntaktisch, bieten aber keine tragfähige Kompositionsregel für derartige Kontrakte [8]. Hiermit ist weder kontraktbasierte modulare Verifikation von Systemen möglich, die mindestens eine lediglich statistisch testbare Komponente (bspw. ein Computer-Vision-System) enthalten, noch eine Fortschreibung ihrer Qualitätssicherung bei Austausch/Update/Upgrade einer solchen Komponente.
2. Die existierenden Kontraktframeworks sind nicht geeignet, zu erklären, wie mittels defensiver Funktionsarchitekturmerkmale eine mehrere dezimale Größenordnungen über der Funktionszuverlässigkeit der Einzelkomponenten liegende Gesamtsystemzuverlässigkeit erzielt werden kann. Dies ist in Anbetracht der – zwar zunehmend mit dem Menschen vergleichbaren, aber immer noch um Größenordnungen über der akzeptablen Gesamtsystemfehlerrate liegenden - Fehlerhäufigkeit beispielsweise von kamerabasierten Objekterkennungssystemen aber unbedingt notwendig.

Die Darstellung dieser Problemfelder vor einer breiten industriellen Öffentlichkeit auf dem SafeTRANS Industrial Day 2020 im Rahmen des Vortrags „What constitutes a viable statistical guarantee? On the need for a rigorous theory of object relevance“<sup>2</sup> hat zu einer intensiven Kooperation mit der Firma Siemens Mobility geführt. Im Zentrum dieser Zusammenarbeit stehen Fragen der Absicherung von KI-Komponenten in komplexen sicherheitskritischen Funktionsarchitekturen der Bahntechnik. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf der Absicherung von maschinengelernten Klassifikationsfunktionen, wie sie für zukünftige autonome Systeme der Verkehrstechnik zu Lande, zu

---

<sup>2</sup>Martin Fränzle, 27. SafeTRANS Industrial Day, 2. Dezember 2020, s.

Wasser und in der Luft gleichermaßen zentral sind. Im Sinne von Open Science und innovativen Methoden der akademisch-industriellen Kooperation wurde hierzu über die direkte Kooperation hinaus eine abstrahierte und simplifizierte Variante der Problemstellung definiert und als mehrstufiger Studierendenforschungswettbewerb ausgelobt.<sup>3</sup>

Parallel hierzu wurden Arbeiten vorangetrieben, um die vorgenannten Schwächen existierender Kontraktframeworks zu beheben und ihre Anwendbarkeit in industriellen Kontexten durch nahtlose Integration testbasierter Verfahren in kontraktbasierte Systemanalysen zu verbessern. Hierzu wurde eine umfangreiche Analyse aller wesentlichen existierenden Kontraktframeworks für funktionale wie nichtfunktionale Eigenschaften durchgeführt. Eine Überblickspublikation hierzu befindet sich in Vorbereitung. Zudem wurden in Kooperation mit anderen Projekten die Handhabbarkeit von kontraktbasiertem Schließen für die naturgemäß multimodalen Teilsysteme automatischer Fahrfunktionen verbessert und ihr Beitrag zur Absicherung von Systemveränderungen durch Komponentenaustausch belegt [9] sowie als Grundlage für die kontraktbasierte Verifikation intelligenter autonomer Systeme jüngst erschienene Vorarbeiten zur formalen Modellierung interagierender intelligenter Systeme [10] vertieft und erweitert [1].

### **Fokussierte Anwendungsfälle für die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen und -systemen**

Neben einer bahntechnischen KI-Applikation aus dem Bereich der automatischen Zugsicherung werden an der Universität Oldenburg derzeit zwei weitere Anwendungsfälle aus dem Automobilbereich entwickelt. Es handelt sich hierbei einerseits um das Update einer zuvor verifizierten komplexen multimodalen und zahlreiche Komponenten enthaltenden automatischen Fahrfunktion durch Austausch einer Teilkomponente durch eine nicht unmittelbar kontraktkompatible performantere Variante, andererseits um die Langzeitfortschreibung eines kontraktbasierten Safety-Arguments über Sequenzen korrektiver, adaptiver sowie perfekter Komponentenupdates [9] hinweg.

## **2.2.4 TU Clausthal**

### **Beschreibung des aktuellen Forschungsstands unter Formulierung von Forschungsfragen**

Der Lehrstuhl für rechnerintegrierte Produktentwicklung der TU Clausthal fokussiert innerhalb des CRF1 die durchgängige Architekturmodellierung und -evolution mechatronischer Systeme, aus Perspektive des Maschinenbaus. Im Vordergrund steht die Entwicklung von Methoden für die Anwendung Digitaler Zwillinge als Grundlage für die zielgerichtete Rekonfiguration und Aufwertung von Fahrzeugsystemen.

#### **Modellbasierte Rekonfiguration und Evolution von Architekturen mechatronischer Fahrzeugsysteme:**

Eine effiziente und möglichst fehlerfreie Architekturevolution mechatronischer Fahrzeugsysteme ist eine wesentliche Voraussetzung für Verkürzung von Entwicklungszeiten und Reduzierung von Entwicklungsrisiken und setzt eine domänenübergreifende Systembeschreibung voraus. Um erforderliche Änderungen zu identifizieren, müssen verschiedene Sichtweisen (Verhalten, Struktur) analysiert und domänenübergreifend integriert werden. Zur Unterstützung der domänenübergreifenden Entwicklung bestehen verschiedene Strukturierungs- und Modellierungsansätze (z.B. [12], [13]), die auf Sichtenkonzepten (View und Viewpoint, Ref.) basieren und semiformale Sprachen (SysML und UML) verwenden. Bisher fehlen jedoch methodische Ansätze,

---

<sup>3</sup>Siehe <https://ecosystem.siemens.com/ai-da-sc>

für die zielgerichtete Weiterentwicklung (Evolution) und Rekonfiguration auf Basis bestehender Modelle. Im Vordergrund der weiteren Arbeiten steht daher folgende Forschungsfrage:

*FF1: Wie können Informationen möglichst verlustfrei zwischen formalisierten Architekturmodellen während der Produktentwicklung ausgetauscht werden?*

Im Rahmen des Entwicklungsprozesses werden eine Vielzahl von Architekturmodellen erzeugt, welche unterschiedliche Konkretisierungsgrade aufweisen. Mit fortschreitender Entwicklung werden die Modelle zunehmend konkret um die Lösungen (bspw. Systementwurf) zu repräsentieren. Eine zentrale Herausforderung besteht darin, die in verschiedenen Modellen definierten Struktureigenschaften verlust- und fehlerfrei in das folgende konkretere Modell zu überführen und damit die erforderliche Konsistenz zu gewährleisten. Struktureigenschaften definieren dabei sowohl Anordnung, Abfolge und Abhängigkeit von Funktionen und Lösungselemente und wirken sich auf externe und interne Schnittstellen (z.B. Flussgrößen, Wertebereiche) aus. Gleichzeitig ist die Identifikation von Struktureigenschaften wesentlich, um domänenübergreifende Lösungsmuster (Pattern) abzuleiten und wiederverwenden zu können. In weiteren Forschungsarbeiten soll die (automatisierte) Ermittlung von Struktureigenschaften in formalen Modellen untersucht werden und Methoden zur Gewährleistung der Modellkonsistenz auf Basis von Struktureigenschaften entwickelt werden.

#### Anwendung Methoden des modellbasierter Systems Engineering zur Entwicklung Digitaler Zwillinge:

Digitale Zwillinge sind digitale Repräsentationen eines Systems, die abhängig vom Anwendungsfall Eigenschaften, Zustände und Verhaltensinformationen abbilden [14]. Derzeit werden Notwendigkeit und Anwendungsfälle Digitaler Zwillinge häufig erst nach Abschluss der Systementwicklung oder entkoppelt vom bestehenden Entwicklungsprozess entschieden. Hierdurch entsteht häufig ein Mehraufwand, da bestehende Modelle des Produkts nicht ausreichend wiederverwendet werden. Ziel der Arbeiten ist es daher die Entwicklung des Digitalen Zwillings, insbesondere des Digitalen Masters als Grundlage Digitaler Zwillinge [14], in den ursprünglichen Entwicklungsprozess zu integrieren und Modelle des MBSE konsequent weiterzuverwenden [15]. Im Vordergrund steht dabei Untersuchung und Entwicklung Digitaler Zwillinge zur Unterstützung der Rekonfiguration von Fahrzeugsystemen. Grundlage hierfür sind Ansätze für die Rekonfiguration von Produktionssystemen auf Basis Digitaler Zwillinge [16]. Neben der Rekonfiguration sollen hierbei Ansätze für die Prognose der Restlebensdauer von (mechanischen) Komponenten auf Basis von Nutzungsinformationen entwickelt und integriert werden. Im Vordergrund stehen dabei folgende Forschungsfragen:

*FF2: Wie kann die Entwicklung Digitaler Zwillinge unter Anwendung von Methoden des modellbasierten Systems Engineering in den Entwicklungsprozess mechatronischer Systeme sinnvoll integriert werden?*

Basierend auf den Prozessen des Systems Engineering soll ein Vorgehen zur integrierten Entwicklung Digitaler Zwillinge erarbeitet werden. Hierbei wird insbesondere ein Fokus auf die Identifikation der Schnittstellen zwischen dem Entwicklungsprozess des physischen Systems und des Digitalen Zwillings gelegt. Um einen verlust- und fehlerfreien Informationsaustausch, an den zu identifizierenden Schnittstellen, sicherzustellen, sollen formalisierte Modelle des modellbasierten Systems Engineering eingesetzt werden.

*FF3: Wie können auf Basis Digitaler Zwillinge Entscheidungen zur Aufwertung von Systemen unterstützt werden?*

Ein zentraler Faktor für die Auslegung von Systemen und Erreichung von Nachhaltigkeitszielen ist die erforderliche, geplante Lebensdauer des Systems. Dabei ist beachten das ein komplexes System aus

einer Vielzahl an Sub- und Teilsystemen besteht, welche teilweise unterschiedliche Lebensdauern aufweisen. Dies als Lebensdauerheterogenität bezeichnete Systemeigenschaft soll mithilfe Digitaler Zwillinge beschrieben werden. Es soll untersucht werden, wie Digitale Zwillinge eingesetzt werden können, um nutzungsbezogene Informationen über das reale System und Subsysteme zu erhalten. Die daraus generierbaren Daten sollen verwendet werden, um die Restlebensdauer des Systems oder dessen Subsysteme zu prognostizieren. Auf diese Weise sollen datenbasierte Entscheidungen über die Aufwertung eines Systems, bspw. durch Austausch eines Subsystems, in Abhängigkeit zur prognostizierten Restlebensdauer des Systems getroffen werden.

### **Fokussierte Anwendungsfälle für die Entwicklung von Fahrzeugfunktionen und -systemen**

Praxisnahe Lösungen für die dargestellten Forschungsfragen bzw. Forschungsthemen sollen anhand konkreter Anwendungsfälle und Demonstratoren erarbeitet und verifiziert werden. Hierfür vorgesehen sind Fahrzeugsysteme (bspw. aktive Wankstabilisierung) und autonome Mobilitätsysteme. Die Nutzung autonomer Mobilitätsysteme erfolgt auf einem Labortestfeld in Zusammenarbeit mit der Ostfalia Hochschule. Hierbei stehen insbesondere die modellbasierte Architekturevolution im Fokus, um die Realisierung konkreter Fahrzeugfunktionen zu ermöglichen. Außerdem soll ein Konzept zur integrierten Entwicklung Digitaler Zwillinge für die Rekonfiguration und Aufwertung von Fahrzeugsystemen auf Basis von MBSE Methoden erarbeitet werden.

### 3 Weiterführende Veröffentlichungen

Form und Inhalt: tabellarische Auflistung der Veröffentlichungen, die in Zusammenhang mit den hier erzielten Ergebnissen stehen. Bitte fügen Sie nach Bedarf weitere Zeilen hinzu.

Konferenz/ Journalname	Datum der Veröffent- lichung	Autorenschaft	Ggf. Link zum Dokument
FASE	2020	Knüppel, Alexander and Jatzkowski, Inga and Nolte, Marcus and Thüm, Thomas and Runge, Tobias and Schaefer, Ina	<a href="https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/37725/2020_Book_FundamentalApproachesToSoftwar.pdf?sequence=1#page=214">https://library.oapen.org/bitstream/handle/20.500.12657/37725/2020_Book_FundamentalApproachesToSoftwar.pdf?sequence=1#page=214</a>
Projektarbeit	2021	Tim Witschel	
Projektarbeit	2021	Domenik Eichhorn	
VaMoS	2021	Pett, Tobias and Krieter, Sebastian and Runge, Tobias and Thüm, Thomas and Lochau, Malte and Schaefer, Ina	<a href="https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3442391.3442410">https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/3442391.3442410</a>
Virtueller ASIM Workshop STS/GMMS & EDU 2021	11.-12.03.2021	Marian Göllner, Sven Jacobitz, Sören Scherler, Jie Zhang, Or Aviv Yarom and Xiaobo Liu-Henke	Automatisierte Umgebungsmodellierung auf Basis von Sensormessdaten zur Erprobung intelligenter Fahrzeugfunktionen mittels driving-simulator-in-the-Loop-Simulationen
Virtueller ASIM Workshop STS/GMMS & EDU 2021	11.-12.03.2021	Sven Jacobitz, Xiaobo Liu-Henke, Marian Göllner and Jie Zhang	Modellbasierte Entwicklung des Antriebsmoduls für vernetzte fahrerlose Transportfahrzeuge in einem cyber-physischen Labortestfeld

### 4 Literaturverzeichnis

- [1] Pett, Tobias, Domenik Eichhorn, and Ina Schaefer. "Risk-based compatibility analysis in automotive systems engineering." Proceedings of the 23rd ACM/IEEE International Conference on Model Driven Engineering Languages and Systems: Companion Proceedings. 2020.
- [2] Pett, Tobias, et al. "Stability of Product-Line Sampling in Continuous Integration." 15th International Working Conference on Variability Modelling of Software-Intensive Systems. 2021.
- [3] V. Wittpahl (Hg.): Künstliche Intelligenz: Technologie | Anwendung | Gesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer, 2019. DOI: 10.1007/978-3-662-58042-4
- [4] L. Eckstein (Hg.): Automatisiertes und autonomes Fahren: VDI-Handlungsempfehlung. Düsseldorf: VDI-Gesellschaft Fahrzeug- und Verkehrstechnik, 2019.

- [5] S. Scherler, et. Al.: Cloudbasierte V2X Kommunikation zur dynamischen Zielführung im vernetzten Verkehr. In: Tagungsband Virtueller ASIM STS/GMMS & EDU Workshop 2021, Wien: ARGESIM Verlag, 2021. DOI: 10.11128/arep45
- [6] Albert Benveniste, Benoît Caillaud, Dejan Nickovic, Roberto Passerone, Jean-Baptiste Raclet, Philipp Reinkemeier, Alberto L. Sangiovanni-Vincentelli, Werner Damm, Thomas A. Henzinger, Kim G. Larsen: Contracts for System Design. *Found. Trends Electron. Des. Autom.* 12(2-3): 124-400 (2018)
- [7] Gregor Gößler, Dana N. Xu, Alain Girault: Probabilistic contracts for component-based design. *Formal Methods Syst. Des.* 41(2): 211-231 (2012)
- [8] Pierluigi Nuzzo, Jiwei Li, Alberto L. Sangiovanni-Vincentelli, Yugeng Xi, Dewei Li: Stochastic Assume-Guarantee Contracts for Cyber-Physical System Design. *ACM Trans. Embed. Comput. Syst.* 18(1): 2:1-2:26 (2019)
- [9] Yosab Bebawy, Housseem Guissouma, Sebastian Vander Maelen, Janis Kröger, Georg Hake, Ingo Stierand, Martin Fränzle, Eric Sax, Axel Hahn: Incremental Contract-based Verification of Software Updates for Safety-Critical Cyber-Physical Systems. *The 2020 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI)*, 2020
- [10] Martin Fränzle, Paul Kröger: Guess What I'm Doing! - Rendering Formal Verification Methods Ripe for the Era of Interacting Intelligent Systems. *ISoLA (3) 2020*: 255-272
- [11] Martin Fränzle, Paul Kröger: Bayesian Hybrid Automata: A Formal Model of Justified Belief in Interacting Hybrid Systems Subject to Imprecise Observation. Submitted to and favorably reviewed for *Leibniz International Transactions on Embedded Systems*, to appear 2021.
- [12] Eigner, M. et. al.: Modellbasierter Entwicklungsprozess cybertronischer Systeme. E-Book, Springer Verlag, 2017.
- [13] Inkermann, D. et. al: Model-Based Requirement Engineering to Support Development of Complex Systems. *29th CIRP Design 2019*. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.345>
- [14] WiGeP-Positionspapier: Digitaler Zwilling. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*: Vol. 115, No. special, pp. 47-50, DOI: 10.3139/104.112311
- [15] Bickford, J. et. al.: Operationalizing digital twins through model-based systems engineering methods. *Regluar Paper*, 2020. DOI:10.1002/sys.21559
- [16] Leng J., et. al.: Digital twin-driven rapid reconfiguration of the automated manufacturing system via an open architecture model, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 63, 2020, <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.101895>.

## 5 Anhang

Deliverable, Zukunftslabor [Name des ZLs], Titel: [Titel], Datum [MM/JJJJ]

Bitte führen Sie hier auf, welche Dokumente zum Anhang dieses Deliverables gehören. (Dokumente  
Bitte als eingebettete PDF-Dokumente anlegen.)