

# **Schlussbericht**

## **ZF Friedrichshafen AG**

**5G-Autosat KI**  
**Optimierung der Konnektivität für automobiler**  
**Anwendungen in hybriden Satelliten / terrestrischen 5G**  
**Netzwerken mittels künstlicher Intelligenz**

Verfasser: Simon Ruf  
Firma: ZF Friedrichshafen AG  
Abteilung: UWDV  
Förderkennzeichen: 50RP2170B

## Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erläutern
3GPP	3rd Generation Partnership Project
ADR	Architecture Design Review
BSS	Broadcast Satellite Services
C2C	Car to Car Vernetzung
C2I	Car to Infrastruktur Vernetzung
C2N	Car to Netzwerk Vernetzung
C2X	Car to Everything (C/I/N) Vernetzung
CAD	Connected and Automated Driving
CAM	Connected and Automated Mobility
CAN	Controller Area Network – serielles Bussystem im Automobilbau
CCAM	Cooperative, Connected and Automated Mobility
CSI	Channel State Information
FP	Final Presentation
FSS	Fixed Satellite Services
GEO	Geostationary Orbit
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSM	Global System for Mobile Communications
HARQ	Hybrid Automatic Repeat Request
HTS	High Throughput Satellite
IIS	Institut für Integrierte Schaltungen
IoT	Internet of Things
IST	Intelligent Transportation Systems
KO	Kickoff
LEO	Low Earth Orbit
LIN	Local Interconnect Network – serieller Bus für Vernetzung von Sensoren und Aktoren
LTE	Long Term Evolution
MCS	Modulation and Coding Scheme
MEO	Medium Earth Orbit
MSS	Mobile Satellite Services
NTN	Non Terrestrial Networks
NR	New Radio
OEM	Original Equipment Manufacturer
OTA	Over the Air – Methode für Software Updates
PM	Progress Meeting
RACH	Random Access Channel
TCU	Telematics Control Unit
TRL	Technology Readiness Level
USB	Universal Serial Bus
VHTS	Very High Throughput Satellite

# Inhalt

1.	Einleitung.....	1
2.	Darstellung Projekt .....	2
2.1	Aufgabenstellung .....	2
2.1.1	Arbeitsziele Verbundvorhaben.....	5
2.1.2	Teilziele ZF Friedrichshafen .....	7
2.2	Voraussetzungen .....	7
2.2.1	Übereinkünfte im Projekt.....	7
2.2.2	Überblick der geplanten Arbeiten im Verbundprojekt .....	7
2.2.3	Projektstruktur des Vorhabens.....	8
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens.....	11
2.3.1	Aufgabenübersicht ZF Friedrichshafen .....	11
2.3.2	Zeitplan Verbundprojekt.....	13
2.3.3	Zeitplan und Kostenplanung ZF Friedrichshafen.....	14
2.3.4	Ablauf des Vorhabens .....	15
2.4	Stand der Wissenschaft und Technik.....	16
2.4.1	Cooperative, Connected and automated Mobility .....	16
2.4.2	Fahrzeug-Kommunikationsmodule.....	17
2.4.3	Satellitenkonnektivität.....	17
2.4.4	Satellitenkonnektivität für (auto)mobile Anwendungen.....	18
2.4.5	Standardisierung zu Satelliten in 5G – „Non-terrestrial Networks (NTN)“.....	20
2.4.6	Verkehrssysteme und Kommunikationsprotokolle .....	20
2.4.7	Fachliteratur und Informationsdienste .....	21
2.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen und laufende Arbeiten.....	23
2.5.1	Konsortium .....	23
2.5.2	Weitere Kontakte und Zusammenarbeiten .....	23
2.6	Bisherige und parallellaufende Arbeiten.....	24
2.6.1	Entwicklung Kommunikationsmodul (ZF) .....	24
2.6.2	Eigene Fahrversuche mit Satellitenkonnektivität .....	24
2.6.3	Satellitenkommunikation (Airbus und Fraunhofer IIS) .....	26
2.6.4	Das 5G-Autosat Projekt (Airbus, Fraunhofer IIS und ZF) .....	27
2.6.5	Satellitenkommunikation und Kommunikationsprotokolle (FAU) .....	28
2.6.6	5G Entwicklung und Standardisierung (Fraunhofer IIS).....	29
2.6.7	Simulation von Konnektivität in Verkehrssystemen (Fraunhofer IIS).....	31
2.6.8	Simulation von Verkehrssystemen und Fahrzeugkommunikation (FAU).....	32
2.6.9	KI Anwendungen.....	33
3.	Detaillierte Projektdarstellung .....	35

3.1	Verwendung der Zuwendung .....	35
3.2	Vergleich erzielte und geplante Ergebnisse .....	35
3.2.1	Arbeitspaket 1 .....	35
3.2.2	Arbeitspaket 2 .....	36
3.2.3	Arbeitspaket 3 .....	37
3.2.4	Arbeitspaket 4 .....	37
3.2.5	Arbeitspaket 5 .....	37
3.2.6	Arbeitspaket 6 .....	38
3.2.7	Arbeitspaket 7 und 8 .....	38
3.2.8	Arbeitspaket 9 und 10 .....	38
3.2.9	Arbeitspaket 11 und 12 .....	38
4.	Zusammenfassung .....	39
4.1	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit .....	39
4.2	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit .....	39
4.3	Mitbewerber Fortschritt .....	39
4.4	Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen .....	40
5.	Verwertungsplan .....	42
5.1	Schutzrechte .....	42
5.2	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen .....	42
5.3	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten .....	42
5.4	Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten .....	43
5.5	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit .....	44
6.	Anhang .....	45
6.1	Document Control Sheet .....	45

# 1. Einleitung

Wie in den letzten Jahren der Trend zeigt, ist eine nahtlose Verknüpfung und Vernetzung von Fahrzeugen inzwischen unabdingbar. Sowohl im privaten Bereich mit Personenkraftwaagen als auch im kommerziellen Bereich.

Im privaten Bereich unterliegt die Sparte erfahrungsgemäß Schwankungen in der Ausrichtung. Wo früher noch eine weltweit gewünschte Breitbandverbindung für zum Beispiel Streaming gewünscht war, kann morgen der Wunsch bereits wieder anders aussehen. Die OEMs sehen die Verfügbarkeit auch realistisch. Der Wunsch einer dauerhaften Breitbandverbindung wird nicht verschwinden, zumindest aber die Einsicht einer möglichen Einschränkung ist inzwischen eingetreten. Somit soll, wenn verfügbar eine möglichst hohe Datenrate erreicht werden, um den Insassen ein breites Spektrum an Onlinediensten bieten zu können. Wenn diese Option geografisch gesehen nicht zur Verfügung steht, soll zumindest eine Grundversorgung ermöglicht werden. Diese Versorgung soll für grundlegende Daten, die für ein modernes Fahrzeug wichtig sind, genutzt werden. Dazu zählen unter anderem Korrekturdaten, um die Positionsgenauigkeit von GNSS-Daten zu verbessern oder Daten die vom Fahrzeug ins Netz gesendet werden wie Zustand und eigene Position.

Der kommerzielle Bereich hatte zunächst weniger Interesse an einer dauerhaften Datenverbindung. Doch dies ändert sich rapide, da sowohl Fahrzeughersteller als auch Betreiber immer mehr Nutzen in der Datenverbindung sehen. So können Hersteller von Lastkraftwaagen durch eine Verbindung die Lebenszyklen von bestimmten Bauteilen überwachen. Somit werden Wartungsintervalle optimal gesteuert oder Schwachstellen frühzeitig erkannt. Auch für Betreiber ergeben sich neue Möglichkeiten, sei es die Liveverfolgung beispielsweise bei Diebstahl, oder auch die Liveverfolgung einer ganzen Flotte, um diese optimal zu orchestrieren und zu steuern. Was ebenfalls ein immer häufiger auftretendes Problem in diesem Zusammenhang ist, ist die aktuelle Verfügbarkeit einer Datenverbindung. Während privat genutzte Fahrzeuge meist in der Nähe von Ballungsräumen und somit einer möglichen Datenverbindung bewegt werden, sind kommerziell genutzte Fahrzeuge oft abseits solcher Bereiche. Sei es ein Lastkraftwaagen der Güter von einem zum anderen Ort transportiert und dabei Wüsten oder andere karge Gebiete ohne Mobilfunkverbindung durchquert oder auch größere Baumaschinen, die abseits jeglicher Zivilisation in Minen oder abgelegenen Wäldern arbeiten.

Bei all den vorangegangenen Themen setzt unsere hier in diesem Projekt verfolgte Technik an. Durch die Etablierung einer hybriden Verbindung, in der eine Datenverbindung über Satelliten in Fahrzeuge hergestellt wird, können viele Probleme behoben werden die eine reine Mobilfunkverbindung mit sich bringt. Diese soll nahtlos mit der Mobilfunkverbindung arbeiten und je nach Anforderung und Verfügbarkeit automatisch agieren. Durch diese Möglichkeit des hybriden Netzes lassen sich lange Verbindungsausfälle beheben und eine stabile Verbindung für diverse Anwendungen aufrechterhalten.

Das vorliegende Dokument stellt den Schlussbericht von ZF Friedrichshafen für das Teilvorhaben "Automobile Anwendungsfälle mit KI-Unterstützung" dar. Nach dieser kurzen Einleitung (Kapitel 1) liefert Kapitel 2 eine Kurzdarstellung des Vorhabens gemäß Abschnitt I. des Musters für den Schlussbericht, wie es in den Nebenbestimmungen für Zuwendungen vorgegeben ist. Es enthält die Aufgabenstellung, die Voraussetzungen sowie Planung und Ablauf des Vorhabens, den wissenschaftlich/technischen Stand, an den angeknüpft wurde einschließlich der verwendeten Fachliteratur sowie Erläuterungen zur Zusammenarbeit des Zuwendungsempfängers mit anderen Stellen. Das Kapitel 3 gibt eine eingehende Darstellung des Vorhabens. Dabei beschreiben die Kapitel 3.2.1 bis 3.2.9 die Ergebnisse der Arbeitspakete.

Kapitel 4 liefert eine Zusammenfassung der Notwendigkeit, des Nutzen, der Mitbewerber und den Beitrag zu förderpolitischen Zielen.

Kapitel 5 beschreibt die Fortschreibung des Verwertungsplanes, sowie bereits erfolgte Verwertungsschritte.

In Kapitel 6, Anhang, befindet sich das Document Control Sheet

## 2. Darstellung Projekt

### 2.1 Aufgabenstellung

Als das Mobiltelefon sich in den 1990er-Jahren in Deutschland etablierte, war Mobilfunk noch etwas Besonderes und die Nutzung von Handys vorwiegend auf gelegentliches Telefonieren und SMS-Schreiben beschränkt. Heute ist das Smartphone praktisch unverzichtbar geworden. Selbst wenn man mit dem Auto unterwegs ist ermöglichen Freisprecheinrichtungen und Bluetooth-Kopplung den Passagieren und auch dem Fahrer permanente Erreichbarkeit für wichtige private und geschäftliche Anrufe – sofern die Netzabdeckung ausreicht.

Auf den ersten Blick scheinen die Übersichtskarten der drei großen Mobilfunkanbieter eine im Prinzip vollständige Versorgung mit einer Basiskonnektivität zu zeigen (siehe Abbildung 1). Bei genauerer Betrachtung – etwa in der Region in der zwei der vier Verbundprojektspartner angesiedelt sind – erkennt man nicht nur Defizite bei der leistungsfähigen LTE-Versorgung, sondern sogar weiße Flecken, bei denen selbst eine GSM-Verbindung nicht besteht (siehe Abbildung 2). Fährt man in einen Bereich schlechter Netzabdeckung, bricht eine bestehende Telefonverbindung ab und man muss erneut anrufen, wenn man dieses sogenannte „Funkloch“ hinter sich gelassen hat. Und aus verschiedenen Erfahrungen heraus, durch Gespräche aber auch durch unzählige Testfahrten, lassen sich die Karten durchaus anzweifeln. Auch bei einer angeblichen Abdeckung, sollte dies zu schwach sein, können die Endgeräte damit nicht ausreichend arbeiten. Als Konsequenz hat der ehemalige Bundeswirtschaftsminister Peter Altmaier sein Büro angewiesen, ihn auf Autofahrten nicht mehr mit ausländischen Ministerkollegen zu verbinden, da ihm die ständigen Unterbrechungen zu peinlich sind (Ref. Handelsblatt 25.11.2018).



**Abbildung 1: Mobilfunk-Netzabdeckung in Deutschland (stand 09/2025)**

Telekom

Telefonica

O2



**Abbildung 2: Detaillierte Mobilfunk-Netzabdeckung in der Bodensee Region (stand 09/2025)**

Die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Satellitenkommunikation bieten nun die Möglichkeit diese Lücken in Ergänzung zu den terrestrischen Mobilfunknetzen zu schließen. Satelliten mit hohem und sehr hohem Datendurchsatz (HTS und VHTS) im geostationären Orbit und Satellitenkonstellationen im niedrigen Erdorbit versprechen eine signifikante Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von neuen Satelliten Kommunikationsanwendungen bei gleichzeitiger Erhöhung der Leistungsfähigkeit. 5G – die

nächste Mobilfunkgeneration – befindet sich momentan in der Einführungsphase. Allerdings wird insbesondere im ländlichen Bereich die Abdeckung kommerzieller Mobilfunktechnologien mit 5G nicht flächendeckend oder nur mit sehr hohem Aufwand gesichert werden können. Im Rahmen von 3GPP werden gegenwärtig die Standards für 5G der nächsten Releases definiert. Dabei wurde erstmals auch die Integration von Satelliten über das Konzept der nicht-terrestrischen Netze (non-terrestrial networks) vorgesehen und im Release 17, der verzögert durch die COVID-19 Pandemie erst Anfang 2022 finalisiert werden wird, erstmalig spezifiziert. Für 3GPP Release 18 haben die Diskussionen bereits begonnen, weiterführende Untersuchungen für die verstärkte Einbindung von Satelliten durchzuführen und entsprechend zu spezifizieren. Die Beiträge, die Satelliten in das 5G-Ökosystem liefern können, sind hochgradig komplementär und die Integration von terrestrischen und raumgestützten Komponenten ermöglicht eine vollständige und effiziente Abdeckung der identifizierten Anwendungen und bieten auch ausreichend Flexibilität, um neue, unvorhergesehene Nutzungsfälle zu bedienen. Ebenfalls ist inzwischen auch die Diskussion um die nächste Mobilfunkgeneration 6G gestartet. Dort wird schon selbstverständlich davon ausgegangen das der Satellit eine Rolle spielen wird. Auch die Satellitenkommunikation weist in Ergänzung zu terrestrischen Kommunikationsverbindungen einige Vorteile auf:

- Satelliten können durch ihre großen „Einsehbereich“ eine gute Abdeckung bieten und ein Großteil der Lücken terrestrischer Netze schließen.
- Mit wenigen Satelliten im geostationären Orbit, aber auch mit einer LEO-Konstellation kann eine globale Verfügbarkeit von Satellitendiensten erreicht werden, so dass ein solches System für automobiler Anwendungen weltweiten Einsatz grundsätzlich erlaubt.
- Existierende sowie in Bau und Planung befindliche Satelliten und Satellitenkonstellationen ermöglichen eine sehr schnelle, erste Implementierung, die dann sukzessive ergänzt werden könnte.
- Inhärent sind Satellitenverbindungen widerstandsfähiger gegen Cyber-Angriffe, zudem bieten sie einen zu terrestrischen Verbindungen unabhängigen Weg zur Übermittlung von Crypto-Schlüsseln.
- Zudem versprechen neue Konzepte für den Bau von Satelliten und -konstellationen deutliche Kostensenkungen für Satellitendienste.

Frost & Sullivan erwartete das dieses Jahr, 2025, bereits 27,2% der automobilen Nutzungsfälle eine Satellitenkonnektivität erfordern werden. Was vor allem im Transport- und Mobilitätssektor eine signifikante Rolle spielen würde. Der Bedarf ist unserer Einschätzung nach noch gestiegen und übertrifft die ursprüngliche Schätzung. Allerdings ist eine flächendeckende Einführung einer NTN-Verbindung mit hoher Leistung noch nicht erfolgt. In den USA hat die Firma Sirius XM bereits seit über einem Jahrzehnt ein erfolgreiches Geschäftsmodell als Anbieter von Satellitenradio im S-Band bei einer Frequenz von etwa 2.3 GHz etabliert. Mit einem Kundenstamm, der inzwischen auf 33 Millionen angewachsen ist, wird ein Umsatz von über 7,7 Mrd. US\$ - bei jährlichen Subskriptionsgebühren zwischen 156 und 288 US\$ - erzielt. Antenne und Empfangsgerät werden von den meisten Automobilherstellern als kostengünstige Sonderausstattung oder zum Teil bereits serienmäßig angeboten. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Flachantennen durch Firmen wie Kymeta, Phasor und Alcan eröffnen sich die Möglichkeiten einer breitbandigen, bidirektionalen Vernetzung von Fahrzeugen über Satelliten bei höheren Frequenzen im Ku- oder Ka-Band. Zudem ist die weltweite Aufmerksamkeit für das Thema der Satellitenkonnektivität für automobiler Anwendungen gerade in 2020 und insbesondere Anfang 2021 deutlich gewachsen. Zum einen hat der chinesische Automobilhersteller Geely die Initiierung eines Satellitenkonstellationsprojektes zur Unterstützung von autonomer Mobilität angekündigt. Zum anderen zeigt der Elektroautobauer Tesla aufgrund seiner organisatorischen Nähe zu SpaceX und der Starlink-Konstellation großes Interesse an der Technologie, so dass auch die traditionellen Automobilhersteller die Entwicklung sehr intensiv verfolgen. Letztere Firmen starteten nun auch mit einer NTN-Verbindung mit Hilfe von Satelliten. Wobei diese noch nicht den Vorstellungen der meisten potenziellen Nutzern entsprechen.

Internet-of-Things Dienste oder „Multicast/Broadcast with Satellite Overlay“, und im technischen Report [3GPP TR 22.822] dokumentiert und aus denen sich auch Nutzungsfälle für automobiler Szenarien ableiten lassen. Neben mobiler Telefonie konnten in Zusammenarbeit mit verschiedenen Schlüsselspielern aus dem Mobilitätssektor folgende potentielle Anwendungen identifiziert werden und es ist zu erwarten, dass sich weitere Anwendungsfälle ergeben werden, sobald erste Systeme operativ

verfügbar werden - fett gedruckt sind die Anwendungsfälle, die im Rahmen vom abgeschlossenen 5G-AUTOSAT Projekt priorisiert wurden:

- Notfalldienste, wie etwa eCall (emergency call)
- **Software over the Air (OTA)** Aktualisierungen
- Fahrzeuglokalisierung etwa bei Diebstahl
- **Situational Awareness / Verkehrssituationslagebild** - Austausch von Daten zu Straßenzustand (etwa Baustellen, Umleitungen, aber auch Glatteis, Nässe, etc.), Wettersituation (etwa Nebel, Aquaplaninggefahr, etc) und Verkehrslage (Staus, Unfälle, etc.) zur Verkehrsflussoptimierung – im Prinzip bidirektional: Satellitenbroadcast hochaktueller Informationen und Nutzung des Fahrzeugs als lokaler Sensor zur Verbesserung der Datenbasis
- **HD Map Streaming** - Aktualisierung genauer, hochaktueller, maschinenlesbarer Karten (2D und 3D) für autonomes Fahren
- Bereitstellung hochpräziser Navigationsdaten für autonomes Fahren
- **Vehicle Monitoring** - Sammlung aktueller Fahrzeug-Telemetriedaten zur Analyse des Fahrzeugzustandes und zur Planung von prädiktiver und präventiver Wartung
- **Teleoperation** - Bedienung des Fahrzeugs aus der Ferne via Remote Steuerung
- **Info-/Entertainment** - Nutzung von Breitband-Internetdiensten für Fahrer und Fahrzeugpassagiere

Die unterschiedlichen Nutzungsfälle weisen zum Teil sehr unterschiedliche Anforderungen an die Gestaltung der Satellitenverbindung auf, etwa bzgl. Kopplung (bidirektional, unidirektional Satellit – Fahrzeug, unidirektional Fahrzeug – Satellit), die Datenrate, die Latenz, etc. Voraussichtlich wird für eine erste Implementierung von 5G-NTN eine Auswahl geeigneter Anwendungsfälle getroffen werden, um Komplexität und Kosten für das Gesamtsystem, das Raumsegment und vor allem auch die Nutzerterminals einzuschränken.

Eine wesentliche Rolle kommt im Projekt der KI zu. Bisher gab es erste KI-Untersuchungen im Satelliten und im Backend. Diese wurden ohne speziellen Bezug zu Anwendungen oder einem Kommunikationsmodul betrachtet. Auch automobiler terrestrische Anwendungen wurden separiert. Dadurch wurden auch im ersten Schritt die speziellen Charakteristiken eines Satelliten, wie Latenz, Datenrate und Verfügbarkeit, als Host vernachlässigt. Unsere Aufgabenstellung für 5G-AUTOSAT-KI war die nahtlose Ende-zu-Ende Integration von verteilter KI über die ganze Kette vom Endnutzer über hybride 5G Netze zur Anwendung, die auch in der Cloud liegen kann.

Dabei soll sich das Projekt zum Thema KI an den Standardisierungsaktivitäten von 3GPP, O-RAN und ITU orientieren, um eine bessere spätere Verwertbarkeit der Projektergebnisse zu ermöglichen. Der Stand der Technik in diesen Gremien ist in Kapitel 2.4 erläutert und bildet die Basis für unsere Arbeiten zu KI.

Eine zentrale Voraussetzung für die Integration von Satellitenkonnektivität in Automobile ist die Verfügbarkeit kostengünstiger Nutzerendgeräte, die sich Design-konform installieren lassen. Dies beinhaltet zum einen die Antennen und zum anderen die Modems für die Satellitenkommunikation, die in das Kommunikationsmodul (englisch: Telematics Control Unit – TCU, die zentrale Einheit zur Verbindung des Fahrzeugs mit der Außenwelt) zu integrieren sind. Handelsübliche Kommunikationsmodule bedienen die Fahrzeug-internen Schnittstellen wie CAN-Bus, Ethernet, USB, LIN, sowie die klassischen Funkschnittstellen: GNSS (GPS, Galileo, Glonass, BeiDou), Mobilfunk – LTE, WiFi, Bluetooth, V2X 11p. Der Anspruch des vorliegenden Verbundprojekts ist es, einen leistungsfähigen und kostengünstigen theoretischen Lösungsansatz für ein vollintegriertes satellitenfähiges 5G-Kommunikationsmodul zu entwickeln, das auch C2X-Konnektivität ermöglicht. Es soll sich durch die folgenden Alleinstellungsmerkmale auszeichnen:

- Dual-mode Satelliten- und terrestrische Mobilfunk-Konnektivität resultierend in einer signifikanten Erhöhung der Kommunikationsverfügbarkeit
- Vollständige Kompatibilität mit 5G Standards (3GPP)
- Zu gegenwärtigen Automobilantennen kompatible Frequenzbereiche (L-, S-, C-Bänder) zwecks guter Akzeptanz durch Automobilhersteller und deren Kunden weltweit
- Aufbauend auf bestehenden Kommunikationsmodulen mit standardisierter Anbindung ins Fahrzeug

- Erhöhung der Sicherheit für den Fahrer (z.B. eCall, Alarm- und Gefahrenmeldung) aber auch der Widerstandsfähigkeit der Fahrzeugsysteme gegen Cyber-Angriffe (durch Dual Path Verifikation)
- Digitale Dienste für Automobilhersteller (z.B. globale Broadcast Nachrichten für kritische Software Updates)

### 2.1.1 Arbeitsziele Verbundvorhaben

Das wesentliche Ziel des geplanten Vorhabens bestand darin - aufbauend auf den Ergebnissen des Verbundprojektes 5G-AUTOSAT - die Anwendungsreife des Konzeptes der Satellitenkonnektivität für Fahrzeuge zu erhöhen. Damit kann Vehicle2Satellite (V2S) bzw. Car2Satellite (C2S) als weiteres Element der Fahrzeugkonnektivität V2X = Vehicle2Everything bzw. V2N = Vehicle2Network zu einer verbesserten Anbindung immer und überall beitragen. Der neue Mobilfunkstandard 5G ab der Release 17 eröffnet mit dem Konzept der nicht-terrestrischen Netze (NTN) die Möglichkeit einer nahtlosen Integration von Satellitenkonnektivität in das terrestrische Mobilfunk-Ökosystem speziell auch für die Fahrzeugkonnektivität, für die auch im Rahmen von 3GPP entsprechende Standards fortgeschrieben werden. Für die Implementierung von NTN 5G-New Radio Netzwerken definiert 3GPP verschiedene Möglichkeiten mit unterschiedlichen Fähigkeiten in der Satellitennutzlast, speziell auch im Hinblick auf die Umsetzung von Basisstation (gNB) Funktionalitäten. Um optimale Leistungsfähigkeit - insbesondere Latenz - für die identifizierten Automobil Anwendungsfälle zu ermöglichen, wird eine regenerative Architekturlösung mit einer gNB im Satelliten bevorzugt, die auch Edge Computing auf KI Basis unterstützt. KI spielt auch eine wichtige Rolle im 5G Radio Access Network (RAN), bei der im Projekt die Optimierungsmöglichkeiten durch den Einsatz von KI gemäß der O-RAN Architektur mit den sogenannten „RAN Intelligent Controllern“ in Simulation und erstmalig auch in Echtzeit Emulation untersucht werden.

Ein wichtiger Teilaspekt ist die Weiterentwicklung des Konzeptes für ein 5G-TN-NTN-fähiges Kommunikationsmodul für Automobile, das mit den neuesten 5G Standards (gemäß 3GPP) - speziell Release 17 und 18 und den voraussichtlich in 2025 abgeschlossenen Arbeiten an Release 19 - konform ist. Dieses soll die wesentlichen Charakteristika der in der Entwicklung befindlichen relevanten Komponenten - wie etwa Chipsätze - berücksichtigen und die Basis für eine nahtlose 5G-Konnektivität des Fahrzeugs sowohl über Kommunikationssatelliten als auch über terrestrische Mobilfunkstationen bilden. Im Kommunikationsmodul könnte eine ergänzende KI-Einheit sowohl bei der Vorverarbeitung - möglicherweise abhängig von Art und Leistungsfähigkeit des Konnektivitätspfades - im Rahmen der Anwendungsfälle als auch die Orchestrierung der Datenflüsse unterstützen.

Zum Nachweis der Machbarkeit sollte ein Echtzeit-Demonstrator im Labormaßstab erstellt werden, an dem wesentliche Funktionen getestet und die erreichbare Leistungsfähigkeit von KI-Unterstützter 5G-Kommunikation überprüft werden kann (siehe Abbildung 3). Aus der Bewertung der Testergebnisse leiten sich der Verwertungsplan und die notwendigen nächsten Schritte zur weiteren Entwicklung des Moduls ab.

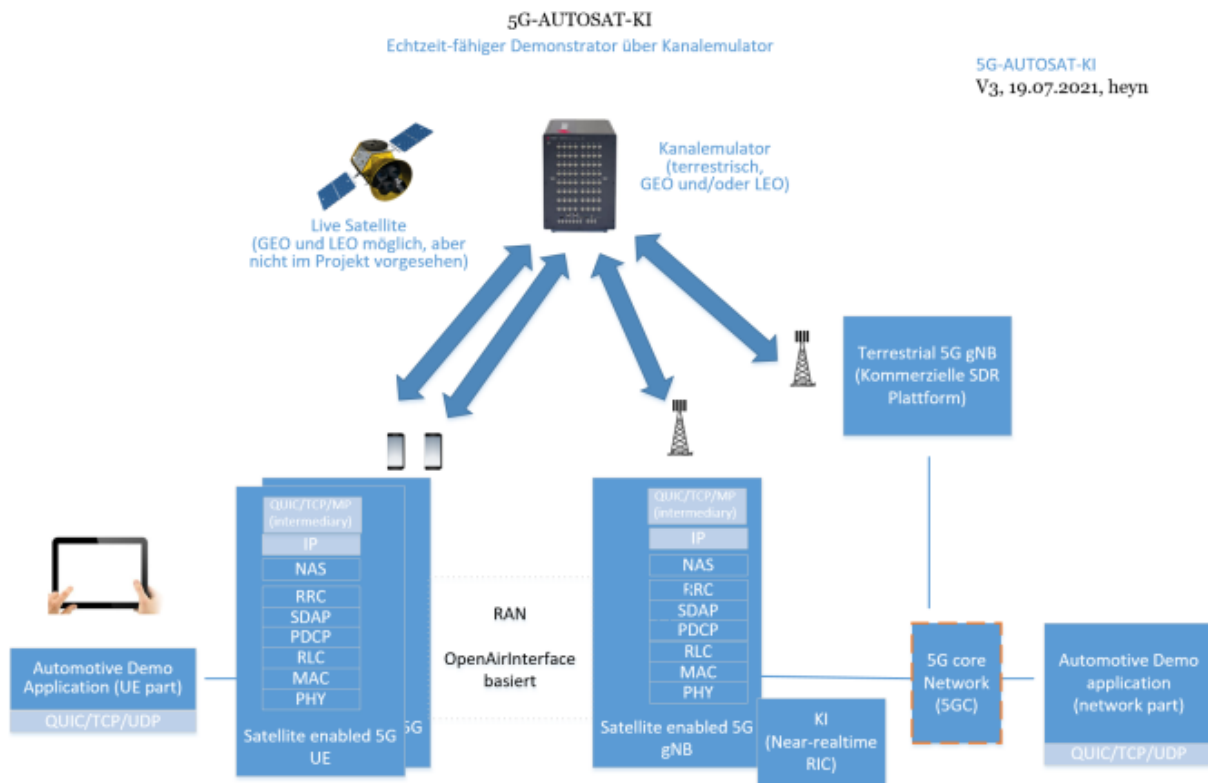
Um auch in der laufenden 5G-Standardisierung die Berücksichtigung von Satellitenkonnektivität für den Mobilitätssektor zu gewährleisten, ist vorgesehen, Vorschläge für Adaptionen zu den Spezifikationen, die im Rahmen von 5G "New Radio" entwickelt werden, in die entsprechenden 3GPP Arbeitsgruppen einzubringen. Anschließend wird die Roadmap für die Implementierung von Satellitenkonnektivität für mobile Anwendungen erarbeitet.

Darüber hinaus erlauben die geplanten System Level Simulationen von hybriden Szenarien mit Satelliten- und terrestrischen Subsystemen (beide 5G basiert) eine genauere Analyse über die erzielbaren Optimierungen durch den Einsatz von KI. Diese kann vielfältig eingesetzt werden und Ansätze von verteiltem Lernen (im Fahrzeug/UE, in den Basisstationen, non-realtime, näher am Kernnetz) erscheinen vielversprechend.

Weiterhin soll das vorgeschlagene Vorhaben nationale Innovationen auf dem Gebiet der Satellitenkonnektivität für den Mobilitätssektor noch deutlich stärker forcieren. Bereits das Vorhaben 5G-AUTOSAT stellte ein erfolgreiches Modell für die Kooperation zwischen Automobil- und Raumfahrtsektor – unterstützt durch die nationalen Institute – dar. Die Verbreitung und Publikation der dort erzielten Ergebnisse haben auch in der Automobilindustrie Interesse erzeugt. Die Chancen und Möglichkeiten, die Satellitenkonnektivität bietet, werden den wichtigsten Bedarfsträgern im Transportsektor immer bewusster, auch weil ausländische Konkurrenten wie etwa Geely (China) oder Tesla (USA) hier sehr aktiv sind. Die Verfügbarkeit eines geeigneten, 5G-standardkonformen, satellitenfähigen 5G-Kommunikationsmoduls ermöglicht eine schnelle Adaption der

Satellitentechnologie gerade durch die deutsche Automobilindustrie, die damit die Konnektivität ihrer Flotte immer und überall gewährleisten und auch weltweit ihre Innovationskraft unter Beweis stellen kann.

Bis zur konkreten Implementierung von Satellitenkonnektivität im Fahrzeug sind noch einige grundlegende Forschungsarbeiten notwendig, um alle erforderlichen Systemkomponenten verfügbar zu haben. Mit den Ergebnissen des Projektes 5G-AUTOSAT wurde sowohl analytisch als auch experimentell anhand des Labor Demonstrators die Machbarkeit des Konzeptes nachgewiesen (entsprechend etwa TRL 3). Darauf aufbauend soll nun im Vorhaben 5G-AUTOSAT KI die Übertragungsstrecke zwischen Fahrzeug, Satellit und Netzwerk für ausgewählte automobiler Anwendungsfälle mit Hilfe eines Echtzeit-Demonstrators in einer Laborumgebung validiert werden (TRL4-5). Dabei steht speziell auch der Einsatz von KI-Verfahren sowohl in Fahrzeug und Satelliten aber auch übergreifend im Netzwerk im Vordergrund, da diese zumindest eine deutliche Leistungssteigerung der Abläufe ermöglichen und zum Teil die effiziente Bedienung von gewissen Anwendungsfällen (speziell wenn schnelle Reaktionen gefragt sind) erst erlauben. Da das Thema momentan weltweit große Aufmerksamkeit genießt, muss auf die entsprechenden Entwicklungen sehr flexibel reagiert werden. Dies wird erreicht durch eine permanente Verfolgung der aktuellen Fortschritte in entsprechenden Gremien (wie der Standardisierungspartnerschaft 3GPP oder der 5G Automotive Association 5GAA). Darüber hinaus wird das Projektteam auch aktiv den Dialog mit Anwendern (unterstützt auch über das Projekt Beratungskomitee) und Herstellern von Schlüsselkomponenten (wie etwa Chipsätzen) suchen.



**Abbildung 3: Geplanter Echtzeit-Demonstrator-Setup**

### 2.1.2 Teilziele ZF Friedrichshafen

Das wesentliche Ziel für ZF im Rahmen des Verbundvorhabens 5G-AUTOSAT war es die Verbundpartner mit Informationen aus dem Automobilsektor zu unterstützen und ein in Frage kommendes Kommunikationsmodul theoretisch zu planen.

#### **Analyse und Grundlagenarbeiten (10 Monate):**

- Belastbares Konzept für Anforderungen an das Gesamtsystem aus Sicht des Fahrzeuges
- Entwurf für einen Einsatz einer künstlichen Intelligenz im Fahrzeug
- Auslegung einer oder mehrerer Anwendungen, für den Demonstrator, aus dem automobilen Sektor

#### **Demonstration (26 Monate):**

- Einbringung des KI-Entwurfes in die Fahrzeugsysteme
- Umsetzung der Anwendungen und Anpassung an den Demonstrator
- Zusammenführen aller benötigten Komponenten und Integration
- Architektur eines möglichen Kommunikationsmodules anhand der neusten Erkenntnisse (Aktueller Stand der 3GPP Standardisierung, Verfügbarkeit von 5G NTN Komponenten, aktualisierter Stand der Anforderungen aus der Automobilindustrie, Positionierung der Wettbewerber europäisch aber speziell auch aus China und den USA)
- Validierung und Leistungsbewertung des Demonstrators und des gesamten entwickelten Systems

## 2.2 Voraussetzungen

### 2.2.1 Übereinkünfte im Projekt

Die vier Verbundpartner Airbus Defence and Space GmbH, Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen und ZF AG haben Übereinkünfte zu folgenden Kooperationspunkten getroffen:

- Kooperationspartner:
  - Airbus Defence and Space GmbH (Immenstaad)
  - Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen (ISS)
  - Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU)
  - ZF AG
- Beantragte Laufzeit: 01.02.2022 – 31.01.2025
- Projektleitung (Koordinierung):
  - Gesamtleitung durch die Airbus Defence and Space GmbH durch Helmut Zaglauer
  - Leitung des Fraunhofer IIS Verbundanteils durch Thomas Heyn
  - Leitung des FAU Verbundanteils durch Reinhard German
  - Leitung des ZF AG Verbundanteils durch Simon Ruf

Eine vereinbarte und ratifizierte Kooperationsvereinbarung zwischen den Industrieunternehmen und der Forschungs-institution fasst das Verbundvorhaben zusammen und wurde nach Zustellung des Zuwendungsbescheids abgeschlossen.

### 2.2.2 Überblick der geplanten Arbeiten im Verbundprojekt

Die Arbeiten des Verbundprojektes bauen auf den Ergebnissen des Projektes 5G-AUTOSAT auf, mit dem Ziel die Anwendungsreife des Konzeptes der Satellitenkonnektivität für automobile Anwendungen von einem Technologiereifegrad TRL3 auf TRL 4-5 zu erhöhen, um die technischen Grundlagen für das Konzept der Vehicle2Satellite (V2S) Konnektivität bereitzustellen. Ein wesentlicher Aspekt ist dabei der

Einsatz von Verfahren der künstlichen Intelligenz, um die Abläufe im Gesamtsystem zu ermöglichen und zu optimieren. Dazu soll eine der Schlüsselkomponenten des V2S-Konzeptes - das Kommunikationsmodul im Fahrzeug im Detail untersucht werden. Basierend auf den während der Projektlaufzeit von der 3GPP erarbeiteten Standards und der resultierenden Komponenten werden die technischen Anforderungen beschrieben und bewertet. Dabei wird auf den bereits im 5G-AUTOSAT entwickelten Grobentwurf zurückgegriffen, der auf dem 3GPP Release 17, 5G NR (New Radio) Standard basiert, und dieser aufbauend auf den Ergebnissen von Release 18 detailliert. Mit Hilfe von Simulationen und vor allem auch über die Untersuchung an einem Echtzeit-Demonstrator soll das Zusammenspiel der einzelnen Elemente im Gesamtsystem - bestehend aus Fahrzeug, Satellit und Netzwerk - getestet und die Machbarkeit sowie die Leistungsfähigkeit - auch im Hinblick auf KI-basierte Optimierungen nachgewiesen werden.

Das Projekt wurde logistisch in zwei große Blöcke aufgeteilt. Zuerst die nötigen Analysen und Grundlagenarbeit und im Anschluss die Demonstrator Phase. Im ersten Schritt betrachten wir die Einflüsse und Anforderungen des Marktes, verschiedener Konsortien und Vorkenntnisse der Projektteilnehmer. Im zweiten Schritt werden die gewonnen Erkenntnisse umgesetzt und erprobt.

### 2.2.3 Projektstruktur des Vorhabens

Die Aufgaben des Verbundvorhabens waren unterteilt in:

- Analysen und Grundlagenarbeit
  - o Anforderungen
    - Infrastruktur System und RAN
    - Infrastruktur Protokolle und Netz
    - Kommunikationsmodul und Fahrzeug
    - Raumsegment
  - o KI-basierte V2S Systemkonzepte
    - KI-Konzepte für 5G NTN
    - KI-Konzepte im Netzwerk
    - KI-Konzepte im Fahrzeug
    - KI-Konzepte im Satelliten
  - o Simulation und Protokolle
    - Aufbau High-Level RAN Simulation
    - Aufbau High-Level Netzwerksimulation
    - Transport Protokolle
  - o Demonstrator
    - Radio Schnittstelle
    - Protokolle
    - Fahrzeug Anwendungen
    - Satelliten Komponente
    - Laborsetup & Testplan
- Demonstrator Phase
  - o Detaillierte KI Implementierung
    - KI in der RAN Simulation
    - KI in der Netz Simulation
    - Echtzeit KI Implementierung

- KI im Fahrzeug
- KI im Raumsegment
- Aufbau Demonstrator
  - Detaillierter Simulator - ISS
  - Detaillierter Simulator – FAU
  - Erweiterung 5G NTN RAN
  - Protokoll Anpassungen
  - Automobilanwendungen
  - Space Komponente
  - Integration 5G NTN RAN
  - Integration Protokolle
  - Integration Automotive
  - Integration Space Komponente
- Entwicklung Kommunikationsmodul
  - 5G NTN Komponenten - ZF
  - 5G NTN Komponenten – ISS
  - V2S Satellitenkonzept
  - Aktualisierung KM Konzept
  - Unterstützung KM Konzept
- Demonstrator
  - Simulation – ISS
  - Simulation – FAU
  - Bewertung Simulation - ISS
  - Bewertung Simulation – FAU
  - Validierung RAN
  - Validierung Netzwerk
  - Validierung Automotive
  - Validierung Space
  - Bewertung Demo – ISS
  - Bewertung Demo – FAU
  - Bewertung Demo – ZF
  - Bewertung Demo - Airbus

Der Projektstrukturplan ist in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Abbildung 5 dargestellt. Darin und auch in den weiteren Darstellungen sind die Anteile von Airbus in dunkelblau, von Fraunhofer IIS in grün, von FAU in rot und von ZF in hellblau gekennzeichnet.

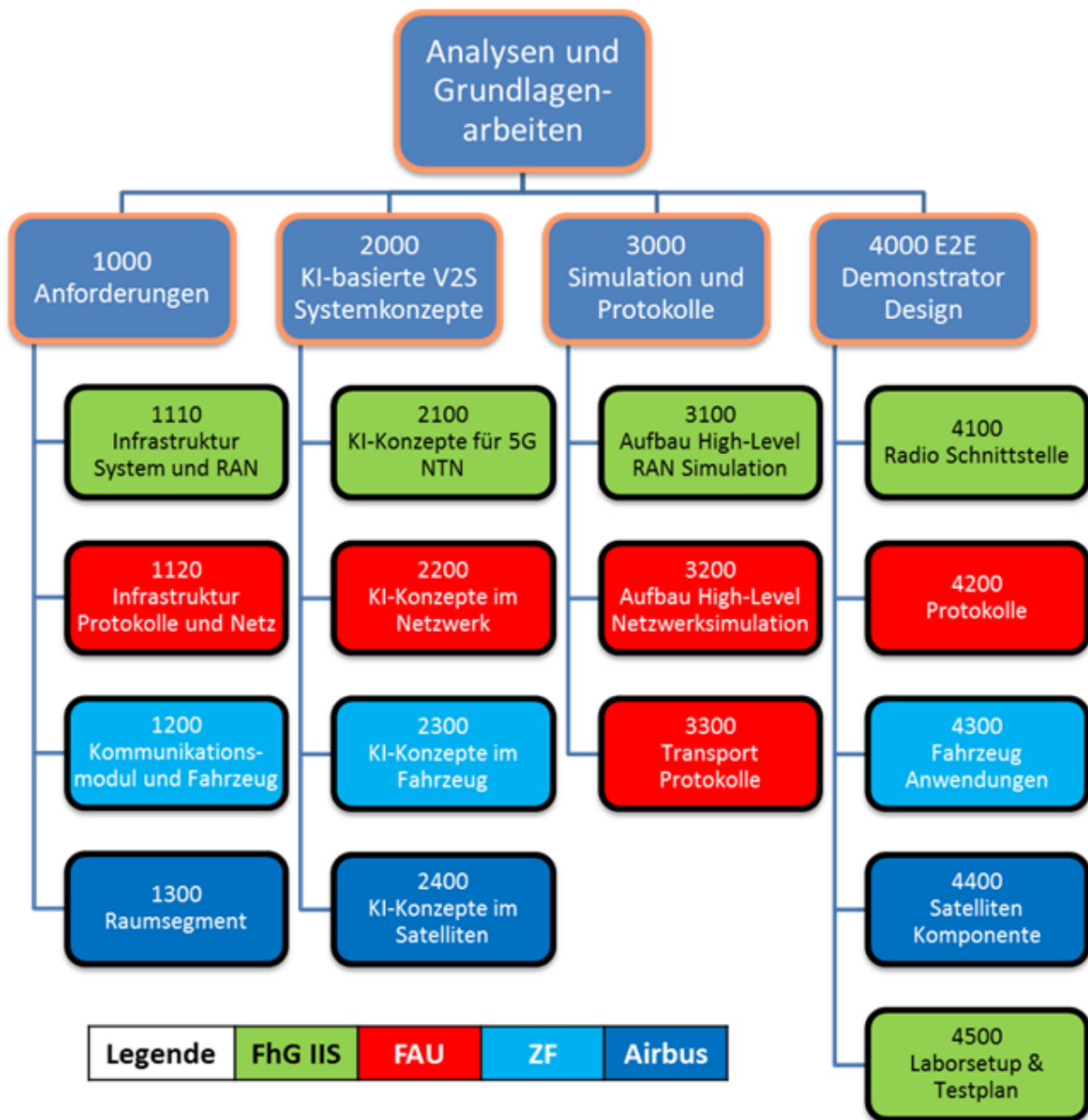


Abbildung 4: Projektstrukturplan Analysen und Grundlagenarbeiten



Abbildung 5: Projektstrukturplan Demonstratorphase

## 2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

### 2.3.1 Aufgabenübersicht ZF Friedrichshafen

Der Projektstrukturplan und der Projektzeitplan sind in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Abbildung 6 dargestellt. Die hellblau eingefärbten Arbeitspakete werden formal und inhaltlich von ZF Friedrichshafen verantwortet und bearbeitet. Die ZF Aufgaben des Vorhabens sind unterteilt in:

- **Anforderungen und Konzepte – Kommunikationsmodul und Fahrzeug (AP 1200)**
  - Evaluation der Funktion des Kommunikationsmoduls
  - Eventuelle Festlegung der Funktion anderer Fahrzeugsteuerelemente
  - Betrachtung des Software Backends für Fahr- und Komfortfunktionen

- Nutzenuntersuchung der möglichen KI-Anwendungen
- **Systemkonzept Vehicle2Satellite – KI Konzepte im Kommunikationsmodul und Fahrzeug (AP 2300)**
  - Festlegung der Anwendungen und Funktionen, die eine Fahrzeug KI übernehmen könnte
- **Demonstrator Design – Anwendungen (AP 4300)**
  - Festlegung der Anwendungen, die von Interesse für das Projekt sind und Funktionalität bieten
- **KI Implementierung – KI im Fahrzeug (AP 5400)**
  - Zusammenführen der alten und neuen Informationsquellen
  - Softwareimplementierung
  - Beitrag zu D3 Technische Notiz KI Implementierung
- **Aufbau Demonstrator – Automotive Anwendungen anpassen (AP 6400)**
  - Die definierten Anwendungen aus der Designphase umsetzen
  - Die Anwendungen auf dem neuen System testen
  - Vergleich erstellen gegenüber der bisherigen Verbindungsart
- **Aufbau Demonstrator – Gesamtintegration inklusive KI (AP 6630)**
  - Die entwickelte KI in die entsprechenden Komponenten des Demonstrators integrieren
  - Deren Funktion sicherstellen
  - Analyse der Funktion und Nutzen
- **Entwurf Kommunikationsmodul – Assessment 5G NTN-Komponenten (AP 7100)**
  - Analyse der Datenblätter/Informationen des Chipherstellers
  - Interne Absprache mit Fachabteilung
- **Entwurf Kommunikationsmodul – Aktualisierung KM-Konzept (AP 7410)**
  - Abgleich der Anforderungen mit unterschiedlichen Entwurfskonzepten
  - Analysen des gesamten Standes der Technik
  - Interne Absprache mit Fachabteilung
  - Konzeptionierung eines detaillierten Entwurfs für das 5G NTN-fähige Kommunikationsmoduls
- **Demonstrator – Funktionale Validierung (AP 8330)**
  - Gemeinschaftlich die zu testenden Funktionen planen
  - Gemeinsam mit den Projektpartnern den Demonstrator auf Funktion und Nutzen testen
- **Demonstrator – Leistungsbewertung Echtzeit Demonstrator (AP 8430)**
  - Auswertung der Testergebnisse aus den Demonstratortests
  - Aufstellung einer Bewertung
- **Management und Verwertung – Projektmanagement ZF und Workshops (AP 9120)**
  - Abstimmung und Koordination mit Projektpartnern
  - Klärung von Detailfragen
- **Management und Verwertung – Verwertungsplan Kommunikationsmodul (AP 9310)**
  - Erstellung Verwertungsplan

### 2.3.2 Zeitplan Verbundprojekt

Für den Ablauf des Verbundvorhabens ist ein Zeitraum von 36 Monaten, beginnend mit einer 10-monatigen Phase für Analysen und Grundlagenarbeiten und anschließender Demonstratorphase, gemäß dem Zeitablaufplan in Abbildung 7 geplant gewesen.

Zwischen dem Kickoff und der Abschlusspräsentation werden fünf Fortschrittstreffen mit den Verbundpartnern und dem Zuwendungsgeber entsprechen Tabelle 1 durchgeführt. Die konkrete Terminierung dieser Besprechungen und Treffen wurde leicht variiert, je nach Verfügbarkeit der Teilnehmer. Regelmäßige monatliche Arbeitsmeetings sind als Telefonkonferenzen geplant gewesen und fanden meist in einem zweiwöchigen Tonus statt.

Zu den aufgelisteten Meilensteinen (MS) und Reviews wurde die Bearbeitung der Arbeitspakete entsprechend nachfolgender Abbildung 6 Fertig gestellt. Die Abrechnung mit dem Zuwendungsempfänger wurde nicht an die Meilensteine angepasst, sondern erfolgte nach den üblichen Prozessen.

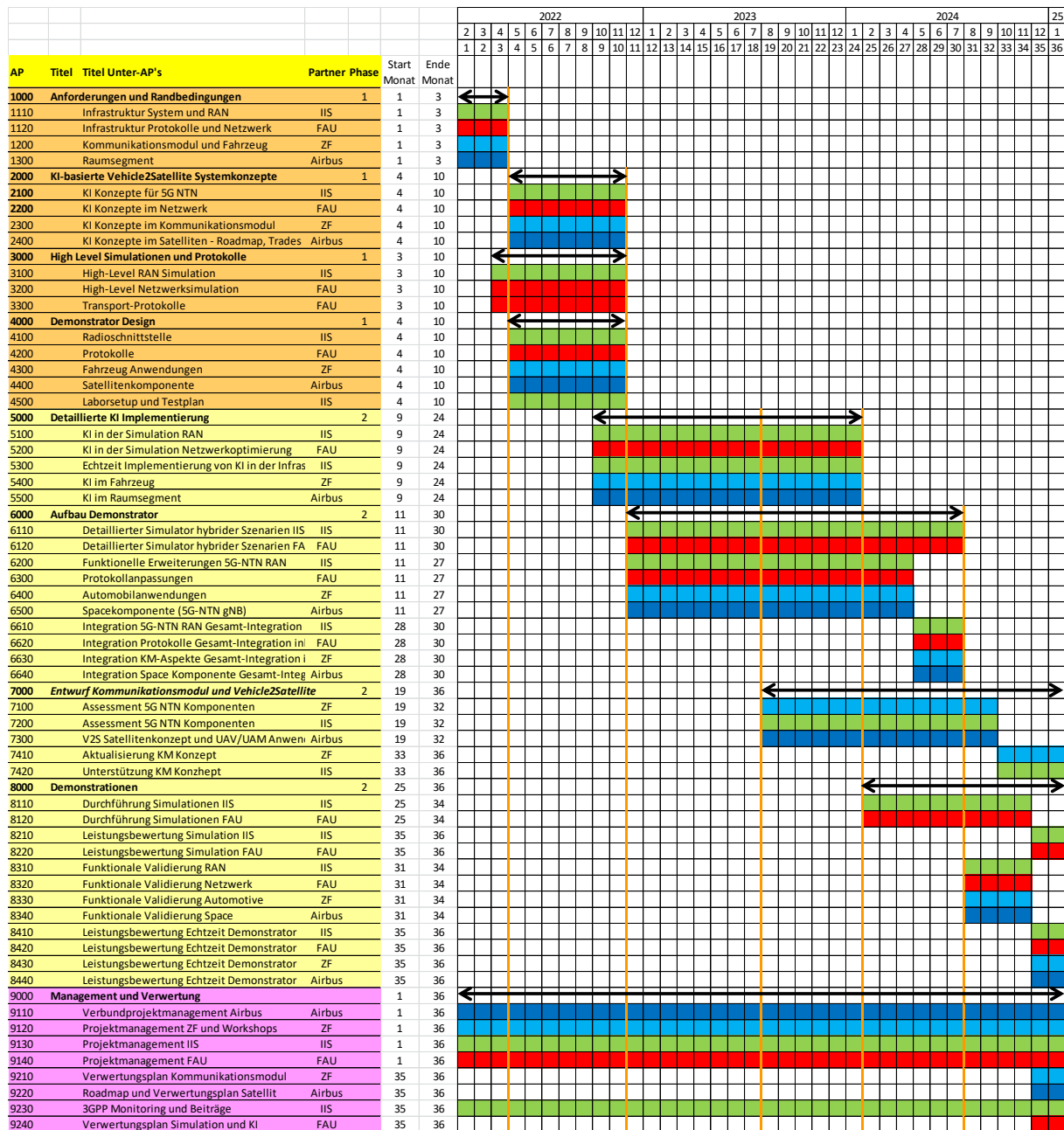


Abbildung 6: Zeitablaufplan



Meeting	Zweck	APs	Zielort	Datum	Reise- dauer	Reisende
Kickoff	Formeller Projektbeginn		Bonn	Feb 2022	2 Tage	1
MS1	Review der Anforderungen und Randbedingungen	1200	Immenstaad	Mai 2022	2 Tage	(0)
MS2	Review High-Level Simulationen, Demonstrator Design und KI-Ansätze	2500, 3300, 4100	Erlangen (FAU)	Nov 2022	2 Tage	1
MS3	Mid-Term Review - Status Simulator und Demonstrator	5400, 6400	Ottobrunn	Jul 2023	2 Tage	1
MS4	Detaillierte KI-Implementierung	5400	Friedrichshafen	Jan 2024	2 Tage	(0)
MS5	Test Readiness Review	6400, 6630, 7100	Erlangen (IIS)	Jul 2024	2 Tage	1
MS6	Projektabschluss	7100, 7210, 8330, 8430, 9120, 9220, 9310	Bonn	Jan 2025	2 Tage	1

**Tabelle 2: Projektmeilensteine - Arbeitspakete ZF**

### 2.3.4 Ablauf des Vorhabens

In der Vorbereitungsphase auf das Vorhaben wurde mit den Zuwendungsgeber ein Projektstart zum 1. Februar 2022 vereinbart und mit einer Laufzeit von 36 Monaten auf ein Ende am 31.1.2025 geplant. Die Laufzeit wurde in der zweiten Jahreshälfte 2024 um zwei Monate verlängert. Die Gründe dafür waren diverse Veröffentlichung und Messen, die einen möglichen Einfluss und zusätzliche Informationen in dieser Thematik hervorbringen können. Das Projekt wurde anschließend planmäßig am 31.03.2025 für beendet erklärt. Dies ging mit der Abschlusspräsentation beim DLR in Bonn einher, bei der alle Projektteilnehmer ihre Ergebnisse und Erkenntnisse zeigten.

Der Ablauf des Vorhabens verlief im Wesentlichen in sehr guter Übereinstimmung mit der ursprünglichen Planung bis auf die Verlängerung gegen Projektende.

## 2.4 Stand der Wissenschaft und Technik

Das Verbundvorhaben umfasst Technologien aus dem Automobilsektor und der Raumfahrt. Die wichtigsten Aspekte aus den einzelnen Bereichen, werden im Folgenden kurz beschrieben.

### 2.4.1 Cooperative, Connected and automated Mobility

Auch während der Laufzeit des 5G-AUTOSAT Projektes wurde durch alle Automobilhersteller die Vernetzung und Konnektivität ihrer Fahrzeuge intensiv vorangetrieben. Produkte wie Mercedes me, BMW ConnectedDrive, Audi Connect bieten den Kunden nicht nur permanente Erreichbarkeit, sondern noch eine Vielzahl weiterer Dienstleistungen, die versprechen, ein einträgliches Geschäft für die Automobilhersteller zu werden. Zwar besteht die klare Forderung, dass autonomes Fahren autark, d.h. ohne jegliche Verbindung nach außen funktionieren muss, aber die Effizienz, Leistungsfähigkeit und Sicherheit wird natürlich mit partieller oder permanenter Konnektivität deutlich steigen. Diese Entwicklung findet gegenwärtig weltweit statt und die deutsche Automobilindustrie muss sich hier eindeutig und zügig positionieren, um ihren Innovationsvorsprung und Premium-Anspruch zu wahren.

Die Einführung von 5G wird auch die Entwicklung des vernetzten Fahrens stark prägen. Der Ausbau der grenzüberschreitenden 5G-Korridore, in Abbildung 8, die eine frühzeitige, erste Implementierung von 5G-Infrastruktur ermöglichen, wurde forciert. In den drei Projekten 5G-MOBIX, 5G-CARMEN und 5GCROCO, die im Rahmen des Horizon 2020 Programms der Europäischen Kommission im Herbst 2018 gestartet wurden, konnten (trotz der COVID-19 Pandemie) bereits signifikante Fortschritte erzielt werden. Im Sommer 2019 wurde die Ausschreibung ICT-53-2020 "5G for CAM" veröffentlicht, auf deren Basis weitere drei Projekte ausgewählt wurden:

- 5GMED – geführt von Retevision I SA, Spanien – Budget 15.7 M€ – Korridor: Barcelona - Perpignan
- 5G-Blueprint – geführt vom Niederländischen Ministerium für Infrastruktur und Wasserstraßen – Budget 13.9 M€ – Korridor: Straßen und Wasserstraßen im belgisch-niederländischen Grenzgebiet
- 5G-ROUTES – geführt von Ericsson Estland – Budget: 11.5 M€ – Korridor: Via Baltica North von Estland nach Lettland, sowie die Fährverbindung von Finnland (Helsinki) nach Estland (Tallinn) (siehe Abbildung 8)

Alle 3 Projekte wurden im September 2020 gestartet. Airbus ist Konsortialpartner im Projekt 5G-ROUTES und wird im Rahmen der Feldversuche auch den Nutzen von in die 5G-Architektur integrierte Satellitenkonnektivität für automobiler und maritime Anwendungen in den Jahren 2022/2023 demonstrieren. Allerdings basieren diese Aktivitäten noch nicht auf dem 5G NTN Standard. Sie dienen als grundlegender Machbarkeitsnachweis, repräsentieren aber nicht die zukünftige, vollständige Integration zwischen terrestrischen und nicht-terrestrischen Netzen, wie sie in 5G-AUTOSAT KI vorangetrieben werden soll. Eine Überschneidung oder Doppelförderung ist damit bei Airbus nicht gegeben.

Die Aktivitäten in Europa aber auch im Rahmen von Kooperationen mit China wurden beim IEEE 5G for CAM Virtual Summit (<http://5gsummit.org/CAM>) am 11. und 12. Mai vorgestellt.



**Abbildung 8: 5G-Routes Korridore**

#### 2.4.2 Fahrzeug-Kommunikationsmodule

Das Kommunikationsmodul (englisch: Telematics Control Unit – TCU) ist die zentrale Einheit zur Verbindung des Fahrzeugs unterwegs mit der Außenwelt. Gegenwärtige Kommunikationsmodule bedienen die Fahrzeug-internen Schnittstellen wie CAN-Bus, Ethernet, USB, LIN, sowie die klassischen Funkschnittstellen: GNSS (GPS, Galileo, Glonass), Mobilfunk – LTE, WiFi, Bluetooth, V2X 802.11p (eine spezielle Art von WLAN, welches für automobile und autonome Fahrfunktionen entwickelt wurde – damit lässt sich allerdings nur ein kleiner Umkreis um den Transceiver abdecken < 1 km). Waren sie ursprünglich nur für den Empfang der Navigationssignale, der Abwicklung von Telefon- und mobilen Datenverbindungen und der Bedienung lokaler Endgeräte über Bluetooth oder Wifi zuständig, wachsen die Anforderungen an ihren Funktionsumfang mit den neuen Konnektivitätsdiensten und dem Wunsch zur Vernetzung von Fahrzeugen untereinander und mit der Verkehrsinfrastruktur (z.B. Ampeln, Verkehrsleitsysteme, ...) stetig an.

Seine Bedeutung als Kernstück der Kommunikation im Fahrzeug und zur Außenwelt, verleiht dem Kommunikationsmodul für die großen Automobilhersteller, wie Mercedes, BMW, VW und Audi, strategische Bedeutung. In der Regel wird es in sehr enger Partnerschaft mit einem ausgewählten Zulieferer nach den speziellen Wünschen des OEMs entwickelt und in Serie gefertigt. Bosch, Continental, Denso, Panasonic, LG Electronics sind nur einige der großen Zulieferer, die sich in diesem Markt bewegen und auch ZF bietet dies nun in seinem Produktportfolio an. Im Rahmen seiner beginnenden Aktivitäten zu „Connected Cars“ entwickelt auch Inmarsat einen Konzeptvorschlag für ein Satellitenterminal, das mit einer angepassten TCU wechselwirken kann. Eine vollintegrierte, satellitenfähige 5G-Lösung ist aber gegenwärtig und auch mittelfristig bis 2030 noch nicht auf dem Markt erhältlich

#### 2.4.3 Satellitenkonnektivität

Satellitenkommunikation stellt die erste nachweisliche kommerzielle Anwendung der Raumfahrt dar. Seit den Anfängen in den 60er Jahren übertragen vornehmlich geostationäre Satelliten Sprach-/Telefonie- und Datenkanäle zwischen festen Sende- und Empfangsstationen (Fixed Satellite Service – FSS), hin zu mobilen Land-, See- und Luft-gestützten Endgeräten (Mobile Satellite Service – MSS) oder versorgen Millionen Haushalte mit einer Vielzahl von Fernsehkanälen (Broadcast Satellite Service – BSS). Mit zum Beispiel Iridium und O3B haben sich auch erste Satellitenkonstellationen im LEO und MEO etabliert.

Im Rahmen von „New Space“ treten Anbieter auf, die durch neue Systemkonzepte signifikant leistungsfähigere Satellitenkonnektivitäts-Lösungen bereitstellen wollen und durch massive Kostensenkungen in der Fertigung des Raumsegmentes für den Nutzer attraktive Preiskonditionen

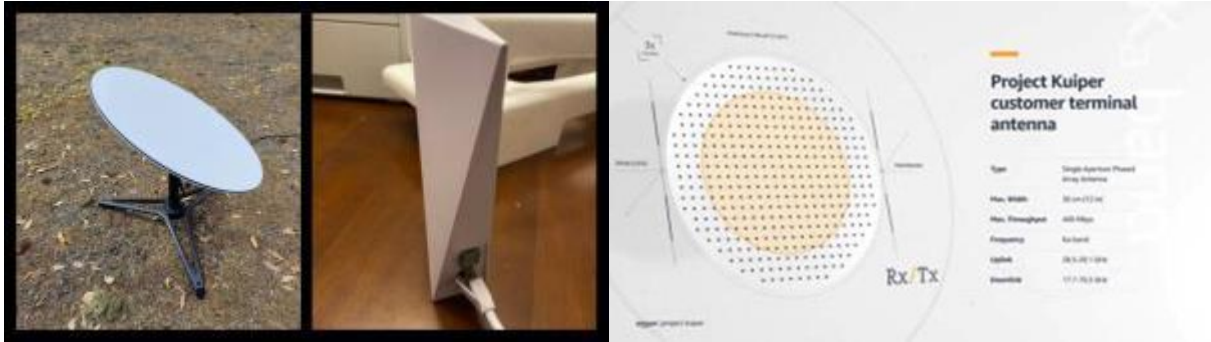
bieten können. OneWeb, Space X Starlink, Telesat LEO, sind nur einige der Firmen, die momentan intensiv neue Märkte und Anwendungen erschließen um eine breitbandige Versorgung aus dem All zu attraktiven Preisen zur Verfügung zu stellen. Stand Ende Mai 2021 waren bereits mehr als 1600 operationelle Starlink Satelliten im Orbit (entsprechend etwa 37 % der geplanten Satellitenanzahl für Phase 1) und auch bei OneWeb waren 212 operationelle Satelliten (entsprechend etwa 32 % der Konstellation) verfügbar. Beide Konstellationsbetreiber sind damit bereits in der Lage bis Ende 2021 kommerzielle Satelliten-Dienste anzubieten. Telesat hat inzwischen intensiv mit der Entwicklung seiner Lightspeed Konstellation (Ka-Band) begonnen und auch die Kuiper Konstellation von Amazon soll bis 2025 operationell sein. Gegenwärtig konzentrieren sich diese Anbieter zunächst auf stationäre Verbindungen, für die Jahre 2022 - 2024 sind aber bereits Demonstrationen für mobile Anwendungen in der Planung. Dabei muss betont werden, dass diese Konstellationen in der gegenwärtigen Konfiguration momentan proprietäre Verbindungskonzepte verfolgen. Eine Implementierung der 3GPP Standards für die 5G Verbindung zwischen den Nutzern am Boden (d.h. den Fahrzeugen) und dem Satelliten, wie es schwerpunktmäßig im vorgeschlagenen Vorhaben 5G-AUTOSAT KI untersucht werden soll, ist momentan weder bei diesen Konstellationen noch bei anderen Anbietern für die Erprobung vorgesehen oder die mittelfristige Umsetzung geplant.

Auch Hersteller von Nanosatelliten wie Kepler und Astrocast mit ihren raumgestützten Internet-of-Things Systemen versuchen sich am Markt zu etablieren und neuartige Dienste anzubieten. Allerdings hat die COVID-19 Pandemie zu signifikanten Verzögerungen in der Implementierung dieser Konzepte geführt.

Mit der Verabschiedung der ersten 5G NTN Standards beginnend mit 3GPP Release 17, werden erste dedizierte 5G Satellitendemonstrationsmissionen konzipiert und umgesetzt. Im Projekt LoLaSat, für das Start-Up S4 unter Beteiligung der Universität Würzburg und der Firma Tesat den Zuschlag erhalten hat, sollen 5G Übertragungskonzepte zwischen Erde und Satellite in sehr niedriger Umlaufbahn (300 km Höhe) mit kurzen Verzögerungen getestet werden. Dies ist auch für automobiler Anwendungsfälle interessant, die sehr schnelle Reaktionszeiten erfordern - wie etwa die Verteilung von Sensorinformationen zwischen Fahrzeugen. Im Projekt 5G-AUTOSAT KI werden die Fortschritte des LoLaSat Projektes analysiert werden und in die Anpassung und Weiterentwicklung des Vehicle2Satellite Konzeptes einfließen.

#### 2.4.4 Satellitenkonnektivität für (auto)mobile Anwendungen

Für automobiler Anwendungen wird in den nächsten Jahren eine rasante Steigerung des Geschäftsvolumens erwartet – Frost & Sullivan schätzt, dass 2025 27.2% der automotive Use-Cases Satellitenkonnektivität erfordern werden. Ein erstes Erfolgsmodell existiert bereits in den USA, wo die Firma Sirius XM seit etwa einem Jahrzehnt erfolgreich Satellitenradio im S-Band anbietet. Mit der Entwicklung leistungsfähiger Flachantennen durch Firmen wie Kymeta, Phasor und Alcan, aber auch neuerdings durch die Konstellationsbetreiber Starlink und Amazon (Abbildung 9**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**), eröffnen sich die Möglichkeiten einer breitbandigen Vernetzung von Fahrzeugen über Satellit. Diese wurden in den letzten Jahren intensiv zur Marktreife entwickelt und stehen nun für den Einsatz auch in Kombination mit den neuen und geplanten Konstellationen zur Verfügung. Seit 2016 arbeiteten erste Autohersteller bereits mit diesen Technologien - so hat Toyota in Zusammenarbeit mit Kymeta 2017 umfangreiche Testfahrten in den USA und Japan unternommen, und verschiedenste Dienste untersucht wie Skype Konferenzen oder Videostreaming während der Fahrt. Erste operationelle Konzepte wurden inzwischen bereits implementiert, allerdings stehen die Integration der Antenne im Fahrzeug und die Kosten der Satellitenverbindung noch immer einer größeren Akzeptanz entgegen. Die neuen kosteneffizienten Konstellationen versprechen hier deutliche Kostensenkungen für die angebotenen Satellitendienste.



**Abbildung 9: Starlink Ku-Band und Amazon Ka.Band Antennen**

Gerade in den letzten Monaten hat das Thema der Satellitenkonnektivität für automobiler Anwendungen weltweit große Aufmerksamkeit erfahren (siehe Abbildung 10 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und Abbildung 11):

- Der chinesische Automobilhersteller Geely (Zhejiang Geely Holding Group Co. Ltd) - der 2010 den schwedischen PKW-Hersteller Volvo übernommen hat und auch bedeutender Anteilseigner bei Lotus Cars, Volvo Trucks und der Daimler AG ist - hatte bereits im März 2020 sein Interesse an einer Satelliten-Konstellation zur Unterstützung bekundet. Im Frühjahr 2021 wurden nun signifikante Fortschritte bei der Initiierung des Projektes und im Genehmigungsverfahren erzielt.
- Da der Entrepreneur Elon Musk sowohl den Elektroautobauer Tesla als auch die Raumfahrtaktivitäten von SpaceX mit der Starlink Konstellation steuert, liegt es nahe eine Verbindung zwischen beiden herzustellen, die eine baldige Implementierung von Satellitenkonnektivität in Tesla-Fahrzeugen ermöglicht.
- Auch die deutsche Automobilindustrie hat im Februar und März 2021 Kontakte zur Raumfahrtindustrie aufgenommen und Interesse an Satellitenkonnektivität gezeigt.

Trotz dieser Entwicklungen sind bis zu einer konkreten Umsetzung der Satellitenkonnektivität im automobilen Umfeld noch einige Hürden zu überwinden. Die oben beschriebenen Ansätze bauen dabei zunächst im Wesentlichen auf proprietären Lösungen. Für eine Adoption von Satellitenkonnektivität durch die Automobilindustrie sind aber verlässliche, standardisierte Lösungen gefragt, die weltweit einsetzbar sind. Das geplante 5G-AUTOSAT KI Vorhaben setzt daher auf die 5G NTN-Standards der 3GPP und will einen wichtigen Beitrag leisten indem es den Reifegrad der für die Integration wichtigen Schlüsselkomponente "5G-NTN Baustein für das Fahrzeug-Kommunikationsmodul" deutlich erhöht. Dazu sollen auch entsprechende Chipsätze die auf 3GPP Standard Release 17 - in dem erstmals auch NTN spezifiziert wird - basierend und die voraussichtlich ab 2024 verfügbar sind, untersucht werden. Derartige Ansätze sind von Wettbewerbern gegenwärtig noch nicht beschrieben worden.



**Abbildung 10: Chinesische und US-amerikanische Aktivitäten zur Satellitenkonnektivität für Fahrzeuge**



Abbildung 11: Interessensbekundung der deutschen Automobilindustrie zur Satellitenkonnektivität in 2021

Die **5G Automotive Association (5GAA)** hat 5G-NTN neuerdings seit Mitte 2021 auch mit auf ihrer Themenliste. Allerdings ist 5G-NTN für die 5G Release 18 bisher noch nicht auf der Prioritätsliste, die für den 3GPP Release-18 Workshop im Juni 2021 eingereicht wurde [3GPP RWS-210360]. Airbus, Fraunhofer IIS und ZF sind Mitglied in der 5GAA und werden die 5GAA-internen Aktivitäten zu 5G-NTN während des Projektes verfolgen, unterstützen und vorantreiben.

Die (rein terrestrischen) Standardisierungsentwicklungen speziell zur Kommunikation zwischen den Fahrzeugen via V2X Sidelink sind im Artikel des Fraunhofer IIS zusammengefasst

#### 2.4.5 Standardisierung zu Satelliten in 5G – „Non-terrestrial Networks (NTN)“

Die Arbeit in Mobilfunk-Standardisierungsgremium 3GPP ist in sogenannten Releases organisiert. Aktuell wird an der Release 19 gearbeitet und der Funktionsumfang im Dezember 2025 verabschiedet (siehe Abbildung 12).

Anwendungsfälle für hybride 5G Systeme mit Satelliten, die für automobiler Szenarien relevant sind, wurden bereits in 3GPP identifiziert, z.B. Internet-of-Things Dienste oder „Multicast/Broadcast with Satellite Overlay“ [3GPP TR 22.822].

Aktuell wird in der 3GPP Arbeitsgruppe an Release 19 gearbeitet, der einen Paradigmenwechsel in der Satellitenintegration für 5G durch die Einführung der sogenannten regenerativen Architektur mit sich bringt. Während in den vorherigen Releases (17 & 18) die Satelliten als „transparente“ Repeater fungierten (Bent-Pipe-Modell), wird in Release 19 erstmals die vollständige gNB-Funktionalität direkt im Satelliten ermöglicht

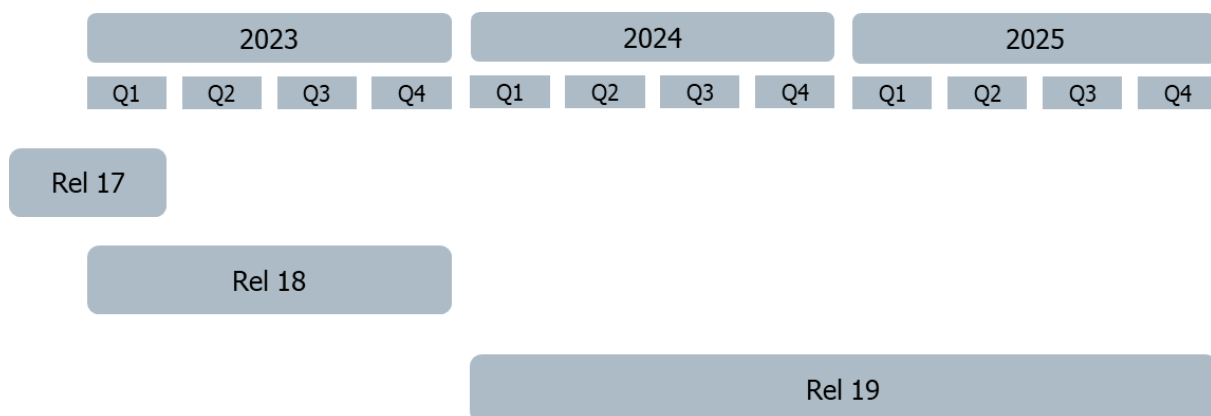


Abbildung 12: 3GPP Planung Release 17 bis 19

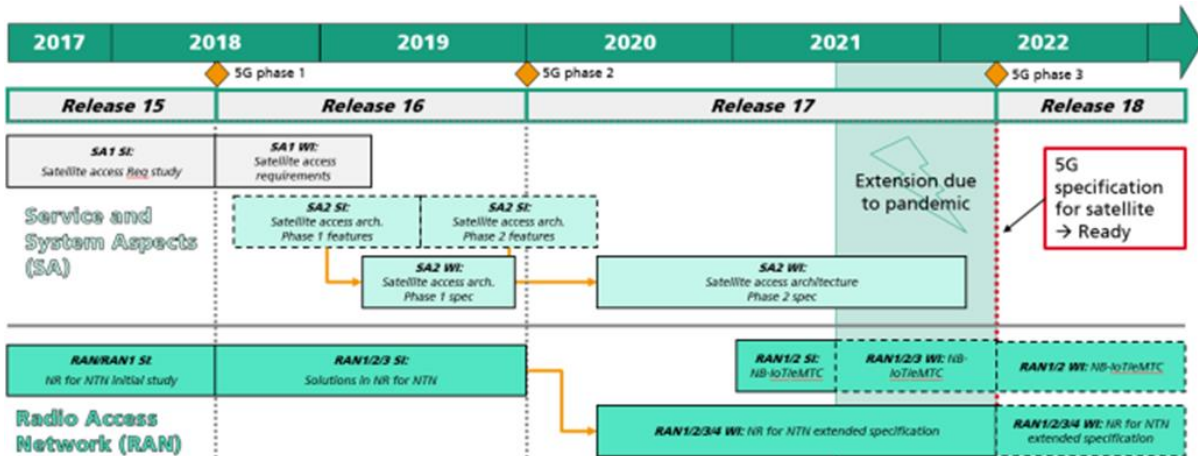


Abbildung 13: 3GPP Study und Work Items Non-terrestrial Networks

### 2.4.6 Verkehrssysteme und Kommunikationsprotokolle

Für die Simulation von Verkehrsszenarien in Kombination mit 4G/5G-Mobilfunktechnologie zeigt sich eine Kombination verschiedener Simulationsframeworks auf Basis des OMNeT++/OMNEST Discrete Event Simulators als besonders vorteilhaft. Das folgende Bild zeigt eine am FAU Lehrstuhl für Informatik 7 orchestrierte Systemarchitektur, welche bereits die Simulation großer Fahrzeugflotten und deren Datenaustausch mit einem 5G-Mobilfunknetz in realistischen Verkehrsszenarien ermöglicht. OMNeT++/OMNEST fungiert hier als Mittelpunkt. Über das Veins-Framework wird eine bidirektionale Kopplung zu dem mikroskopischen Verkehrssimulator SUMO orchestriert. Durch weitere OMNeT++/OMNEST Frameworks (Simu5G/SimuLTE, Inet) wird eine realistische Netzwerksimulation auf System-Level-Ebene ermöglicht, um z.B. die Performance verschiedener Applikationen bewerten zu können. Die Abbildung 14 weist ebenfalls darauf hin, dass ein Framework mit Fokus auf Satellitenkommunikation bislang nicht verfügbar ist.

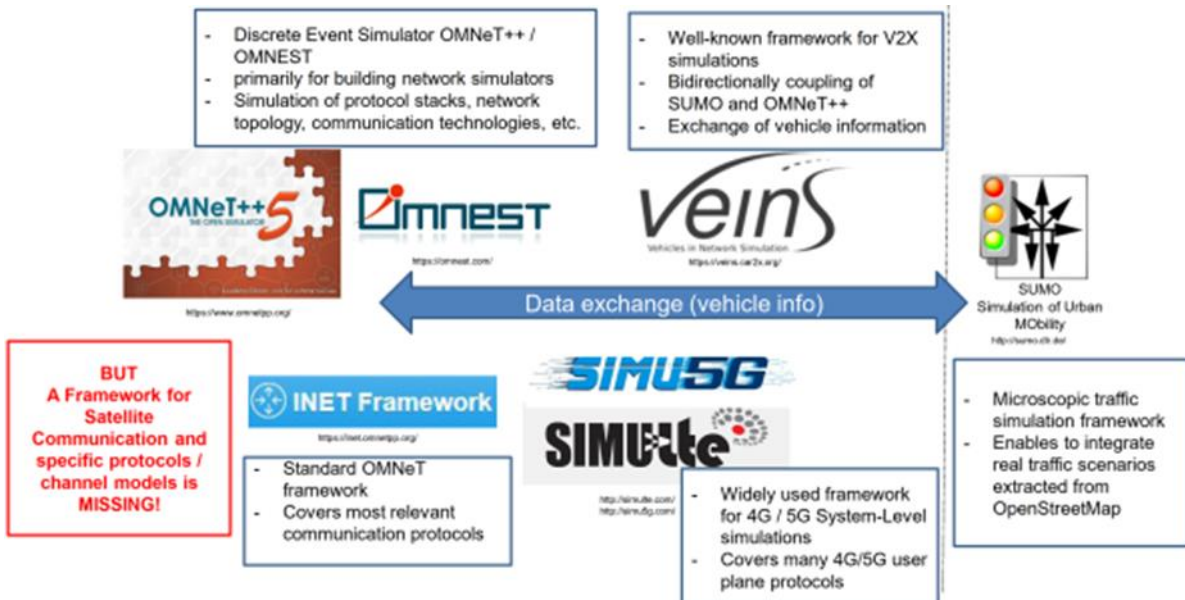


Abbildung 14: Übersicht der Simulationsframeworks und deren Kombination

Im Bereich der Kommunikationsprotokolle gibt es eine Vielzahl von Entwicklungen, welche für dieses Vorhaben relevant sind. Unterschiedliche Kommunikationskanäle stellen unterschiedliche Anforderungen: Geostationäre Satellitenverbindungen (GEO) mit hohen Latenzen sind problematisch für Protokoll-Algorithmen, weshalb in solchen Netzwerken sogenannte Performance Enhancing Proxies (PEPs) eingesetzt werden. Diese TCP-Proxies unterteilen TCP-Verbindungen in mehrere Abschnitte und ermöglichen dadurch den Einsatz von Protokollparametern welche für den Satellitenlink optimiert sind. PEPs können jedoch nicht bei gängigen Virtual Private Networks (VPNs) sowie dem kürzlich

standardisierten QUIC-Protokoll (RFC 9000) eingesetzt werden. Es stellt sich daher die Frage, ob die bisher verwendete Netzwerkarchitektur mit PEPs in zukünftigen 5G Non-terrestrial Networks und der Fahrzeugkommunikation sinnvoll ist bzw. ob hier QUIC in Zukunft eine bessere Alternative darstellen kann.

Die geringere Latenz bei Megakonstellationen in niedrigen Umlaufbahnen (LEO) ist für Internetprotokolle und Anwendungen vorteilhaft, jedoch muss die Performance von LEO-Systemen aufgrund der Neuartigkeit dieser Systeme erst noch in der Praxis bestätigt werden. Auch hier gilt es, dies im Kontext von automobilen Anwendungen und Fahrzeugkommunikation zu evaluieren.

Die gleichzeitige Verfügbarkeit unterschiedlicher Kommunikationstechnologien (GEO, LEO, terrestrisch) mit unterschiedlichen Eigenschaften ist für dieses Projekt relevant. Die Verteilung von Daten mit unterschiedlichen Quality-of-Service-Anforderungen innerhalb des Netzwerks (Routing und Traffic-Management) ist hierbei speziell für Anwendungen im Automobilbereich zu untersuchen. Mehrere Übertragungskanäle gleichzeitig können durch Mobility- oder Multipath-Protokolle kombiniert werden, um eine hohe Zuverlässigkeit und Performance bei der Konnektivität zu gewährleisten. Als Beispiel seien Multipath-TCP, Multipath-QUIC oder QUIC Connection Migration genannt.

## 2.4.7 Fachliteratur und Informationsdienste

Die folgende Tabelle 3 liefert eine Zusammenstellung der wesentlichen Fachliteratur, die verwendet wurde. Hauptquelle dabei waren die Technischen Reports und Spezifikationen von 3GPP, sowie einige ergänzende Quellen zur Ableitung der Nutzungsfälle.

No.	Document
[01]	3GPP TS 38.101-1: "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone". Aktuelle Version: 16.2.0, Dezember 2019
[02]	3GPP TS 38.101-2: "NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 2: Range 2 Standalone". Aktuelle Version: 16.2.0, Dezember 2019
[03]	3GPP TS 38.104: "NR; Base Station (BS) radio transmission and reception". Aktuelle Version: 16.2.0, Dezember 2019
[04]	3GPP TR 38.811: " Study on New Radio (NR) to support non-terrestrial networks" Aktuelle Version: 15.2.0, September 2019
[05]	3GPP TR 22.822: "Study on using satellite access in 5G" Aktuelle Version: 16.0.0, Juni 2018
[06]	3GPP TR 22.886: "Study on enhancement of 3GPP support for 5G V2X services" Aktuelle Version: 16.2.0, Dezember 2018
[07]	ESOA Broschüre "The connected automobile", Mai 2017
[08]	5G CARMEN Consortium: "5G CARMEN Use Cases and Requirements", Deliverable D2.1, Mai 2019
[09]	5GCroCo Consortium: "Test Case Definition and Test Site Description Part 1", Deliverable D2.1, Juni 2019
[10]	5G MOBIX Consortium: "5G-enabled CCAM use cases specifications", Deliverable D2.1, April 2019
[11]	Northern Sky Research: "Satellite Constellations: A Critical Assessment", 1st edition, May 2018
[12]	Northern Sky Research: "Satellite Constellations: A Critical Assessment", 2nd edition, May 2019
[13]	3GPP TR 38.821: " Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN) " Aktuelle Version: Release 16 1.0, Dezember 2019
[14]	"A Technical Comparison of three Low Earth Orbit Satellite Constellation Systems to provide global broadband", Inigo del Portillo et al., Proceedings of the 69th International Astronautical Congress, Bremen, October 2018
[15]	" Vast Satcom Antennas (VASANTs) as an enabling technology for commercial satellite communications", Matthew Stuttard et al., UK Space Conference, Newport, September 2019
[16]	5G Autosat "Konzeption eines satellitenfähigen 5G-Kommunikationsmoduls für Automobile", Simon Ruf, 2021
[17]	5G Autosat "Veröffentlichungen aller Partner", Airbus, Fraunhofer IIS, ZF, 2021

### **Tabelle 3: Liste der verwendeten Fachliteratur**

Der Zuwendungsempfänger verfolgte während der gesamten Projektlaufzeit die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Satellitenkonnektivität und der Integration von terrestrischen und nicht-terrestrischen Netzwerken im Rahmen von 5G sehr aufmerksam insbesondere durch Teilnahme an einschlägigen Konferenzen (z.B. IEEE 5G World Forum in Dresden, Nationale Satellitenkommunikationskonferenz in Bonn, European Conference on Connected and Automated Driving in Brüssel, ...) und Netzwerken (Space2Motion, 5GAA, ...). Auf eine weiterführende Informationsrecherche konnte daher verzichtet werden.

## 2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen und laufende Arbeiten

### 2.5.1 Konsortium

**Airbus Defence and Space** ist ein weltweit führender Satellitenhersteller mit Kompetenz in Satellitenkommunikationssystemen und verfügt über langjährige Erfahrungen im Bereich der militärischen Satellitenkommunikation, sowohl im nationalen als auch im internationalen Umfeld. Dies beinhaltet den vollständigen Projektzyklus vom Beginn der Konzeptions- bis zum Ende der Betriebsphase und umfasst u.a. die Durchführung von Studien, Ausarbeitung von Systemkonzepten mit funktionalen Forderungen sowie die Abwicklung von Lieferprojekten als Hauptauftragnehmer mit Gesamtsystemverantwortung oder im Unterauftrag mit Verantwortung für einzelne Arbeitspakete oder Teilsysteme. Aufbauend auf diesen Erfahrungen hat sich Airbus Defence and Space mit Ideen für neue innovative Anwendungsfelder um erste Studien für die zukünftige Großmission SATCOM2025 beworben. Im Rahmen von internen Innovationsinitiativen zum Einsatz von Satellitenkommunikation für CCAM wurden in Zusammenarbeit mit ZF eigene Fahrversuche mit einer Kymeta Antenne durchgeführt und damit eine erste Umsetzung in einem Pilotprojekt in Peru vorbereitet. Airbus unterstützt die Standardisierungsaktivitäten in 3GPP und ist auch Mitglied in 5GAA.

**ZF** ist ein global agierender Tier 1 Automobilzulieferer und Anbieter von Steuergeräten für den Mobilitätsmarkt. Wachsende Geschäftsfelder sind Technologien für autonomes Fahren und Kommunikationsmodule - in diesem Zusammenhang wurden auch mit Airbus die Kymeta Roadtrials vorangetrieben. Im großen Vorentwicklungsbereich mit verschiedenen Fachrichtungen werden autonome Fahrversuche der Level L1 bis L4 (hochautomatisiertes Fahren) durchgeführt, Hochleistungsrechner für den autonomen Fahrbetrieb erprobt und Schaltstrategien im Rahmen der Getriebeentwicklung konzipiert. Zudem hat ZF Bereiche für Test- und Versuchsfeldaktivitäten sowie den Prototypenbau.

**Fraunhofer IIS** ist ein Forschungsinstitut mit weltweit anerkanntem Know-how in 5G und Satellitenkommunikation. Seit 2015 ist das Fraunhofer IIS in der Mobilfunkstandardisierung 3GPP aktiv, für die Themen MIMO, URLLC, V2X, Satellit (non-terrestrial-networks, NTN) und Positioning innerhalb der Radio Access Network (RAN) Arbeitsgruppen. In der DVB Standardisierung ist das Fraunhofer IIS seit mehr als 10 Jahren tätig. Für die Heinrich-Hertz Satellitenmission hat es die Entwicklung eines On-Board Prozessors durchgeführt. Das Fraunhofer IIS ist Mitglied in mehreren Allianzen wie der 5G Automotive Association (5GAA) und in der OpenAirInterface (OAI) Software Alliance (OSA), in der sich das Fraunhofer IIS aktiv an Entwicklungen von OpenAirInterface zu LTE eMBMS, LTE sTTI und seit 2018 für New Radio beteiligt. Ein Mitarbeiter des Fraunhofer IIS ist im Technical Committee der OSA.

**Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU):** Die FAU ist eine forschungsstarke Universität mit über 38.000 Studierenden, 4.000 Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, davon 585 Professorinnen und Professoren, das jährliche eingeworbene Drittmittelvolumen liegt über 200 Mio€. Der Lehrstuhl für Informatik 7 (Rechnernetze und Kommunikationssysteme) bearbeitet die drei Themen „Quality-of-Service in Networking“, „Connected Mobility“ und „Smart Energy“ und hat ca. 20 Mitarbeiter sowie ca. 10 externe Doktoranden. Der Lehrstuhl kann auf umfangreiche Vorarbeiten sowohl bei der internen als auch externen Fahrzeugkommunikation verweisen, sowie im Bereich der Satelliten- und Multipathkommunikation.

### 2.5.2 Weitere Kontakte und Zusammenarbeiten

Der Zuwendungsempfänger hat sich sehr aktiv in entsprechende Netzwerke zur Förderung des Austausches zwischen Raumfahrtindustrie, terrestrischer Telekommunikationsindustrie und Automobilindustrie eingebracht. An erster Stelle ist hier das vom DLR Raumfahrtmanagement initiierte und von der EurA AG administrierte Space2Motion Netzwerk zu nennen, in dem speziell in den Arbeitsgruppen 1 und 2 interessante Austausche stattfinden konnten und regelmäßig auch der Fortschritt des Vorhabens berichtet werden konnte. Zudem hat Airbus proaktiv den Kontakt zu Automobilherstellern - unter anderem über die gemeinsame Mitgliedschaft in der 5GAA - aufgenommen und den Dialog gesucht, auch wenn momentan bei diesen aufgrund der Herausforderungen und Investitionsanforderungen auf den Gebieten Elektromobilität, Autonomie und terrestrischer 5G-Konnektivität wenig Kapazität zu intensiver Zusammenarbeit besteht. Auch im Kontakt mit der Europäischen Raumfahrtagentur (ESA - European Space Agency) hat der Zuwendungsempfänger

wertvolle Diskussionen zum Thema "Satellitenkonnektivität für Mobilität" führen können, die auch in Richtung einer weiteren Verwertung der Projektergebnisse des Vorhabens vielversprechend sind.

## 2.6 Bisherige und parallellaufende Arbeiten

Die Partner des Verbundprojektes haben durch Vorarbeiten in den für das Vorhaben relevanten Technologiesektoren umfangreiche Vorkenntnisse erworben. Diese werden im Folgenden kurz beschrieben.

### 2.6.1 Entwicklung Kommunikationsmodul (ZF)

Im Bereich der Autonomous Mobility Systems ist bei ZF bereits ein breites Wissen und große Erfahrung hinsichtlich Kommunikationsmodule und –schnittstellen vorhanden. Die erste Generation des ZF-eigenen Kommunikationsmoduls ist bereits in Betrieb und bedient gängige Kommunikationsschnittstellen und -standards, z.B. CAN, Ethernet, WiFi und Mobilfunkstandards bis zu LTE (4G). Des Weiteren wird eine permanente GNSS-Verbindung unterstützt.

Die zweite Generation des Kommunikationsmoduls wird bereits im Jahr 2022 verfügbar sein. Diese Generation unterstützt neben den bereits vorhandenen Techniken weitere Kommunikationsstandards, z.B. 11p (Automotive WiFi). 11p ist der Standard zur Kommunikation mit der Infrastruktur (z.B. Ampel) sowie weiteren Teilnehmern (z.B. Fahrzeuge, Smartphones). Die dritte Generation ist bereits in der Entwicklungsphase. Wichtige zusätzliche Standards wie 5G via Cellular wurden hier berücksichtigt. Die in diesem und in dem vergangenen Förderprojekt gewonnen Erkenntnisse beeinflussen möglicherweise die Konzeptionierung zukünftiger Kommunikationsmodule (voraussichtlich im Zeitraum 2028 - 2030).

Generell zu ergänzen gilt, dass der modulare Aufbau des betrachteten Kommunikationsmoduls den Produkteinsatz in unterschiedlichen Märkten mit jeweils spezifischen Anforderungen und Eigenschaften ermöglicht.

### 2.6.2 Eigene Fahrversuche mit Satellitenkonnektivität

Im Herbst 2017 unternahm Airbus und ZF in einer Kooperation mit dem US-amerikanischen Hersteller von Planarantennen mit elektronischer Strahlschwenkung eigene Fahrversuche. Ziel der Untersuchungen war die Bewertung der Leistungsfähigkeit unter realen Einsatzbedingungen. Dabei orchestrierte Airbus die satellitenseitige Kommunikation und die Organisation. Fahrzeugaufbau (siehe Abbildung 15), Datensammlung und Versuch wurden von der Firma ZF übernommen. Der Antennenprototyp wurde von der Firma Kymeta bereitgestellt und der Kalo Service von Kymeta/Intelsat über einen GEO-Satellit bei 24,5° W wurde verwendet.

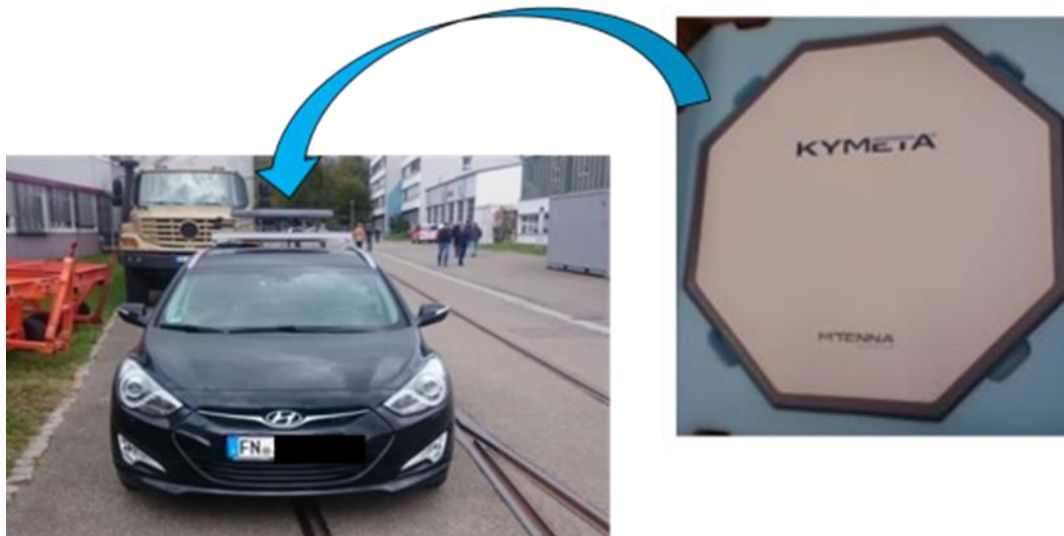


Abbildung 15: Fahrzeugaufbau Fahrversuche

Bei diesem Versuch wurde untersucht, wie gut und stabil eine Datenkommunikation über Satellit im Süden Deutschlands und in Teilen von Österreich bei unterschiedlichen Straßencharakteristiken und Wetter-verhältnissen funktioniert. Die Auswertung der Messungen (Abbildung 16) lieferte eine erste solide Datenbasis und zeigte das Potenzial dieser Technologie. Für Airbus dienten diese Fahrversuche auch als Vorbereitung für ein innovatives Pilotprojekt in Peru, bei dem ein Überlandbus mit Satellitenkonnektivität ausgestattet und im Betrieb getestet wurde Abbildung 17.

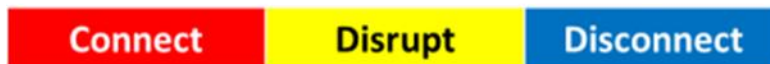


Abbildung 16: Verbindungsprotokoll Fahrversuch A96



Abbildung 17: Fahrzeugaufbau Pilotprojekt Peru

### 2.6.3 Satellitenkommunikation (Airbus und Fraunhofer IIS)

Sowohl Airbus als auch Fraunhofer IIS verfügen über umfangreiche Erfahrung im Bereich der Satellitenkommunikation.

Airbus Defence and Space ist ein Integrator von komplexen Raumfahrtssystemen mit einem halben Jahrhundert an Erfahrung in der erfolgreichen Abwicklung von Raumfahrtprojekten. Der transnationale Programmbereich „Telekommunikation“ ist ein weltweit führender Anbieter von leistungsfähigen Telekommunikationssatelliten mit mehr als 100 ausgelieferten, geostationären Kommunikationssatelliten und einem Weltmarktanteil von 25 %. Mit seiner langjährigen Erfahrung im Architektorentwurf, Systemdesign und in der Fertigung komplexer End-to-End Systeme kann Airbus alle führenden kommerziellen Satellitenbetreiber zu seinem Kundenkreis zählen. Darüber hinaus ist Airbus ein Pionier in optischen Kommunikationstechnologien und agiert als Hauptauftragnehmer und Betreiber des Europäischen Data Relay Satelliten-systems (EDRS).

Als weltweit anerkanntes Forschungsinstitut beschäftigt sich die Abteilung „HF und Satellitenkommunikationssysteme“ des Fraunhofer IIS mit der Erforschung und Bereitstellung entsprechender Technologien. So wurde im ESA-Projekt TARGETS eine Datenrate von > 1.2 Gbit/s über einen einzigen Breitband GEO Transponder demonstriert und 2018 die direkte Konnektivität für IoT-Anwendungen über einen GEO Satelliten nachgewiesen. Für die nationale Heinrich-Hertz-Mission konzipiert, entwirft, baut, testet und liefert das Fraunhofer IIS einen zukunftsweisenden On-Board Prozessor basierend auf FPGAs. Darüber hinaus hat das Fraunhofer IIS an einer Vielzahl von nationalen und internationalen Studien teilgenommen und tritt als Fürsprecher für die Integration von Satellitenkonnektivität in das 5G-Ökosystem auf, u.a. im ESA ALIX Standardisierungsprojekt.

Im Juli 2021 wurde Airbus von der Europäischen Raumfahrtagentur ESA beauftragt - zusammen mit Partnern Fraunhofer IIS und FOKUS, Eurescom und der Universität der Bundeswehr München - eine Studie zu Implementierungsmöglichkeiten einer weltraumgestützten Infrastruktur zur Ergänzung von terrestrischen 5G bis hin zu 6G Netzen durchzuführen. Diese Satelliten-Infrastruktur soll mit den 3GPP Standards für nicht-terrestrische Netze konform sein und nahtlos in das globale Telekommunikations-Ökosystem integriert sein. Die Ergebnisse dieser Studie können im Vorhaben 5G-AUTOSAT KI indirekt genutzt werden, um die allgemeinen Anforderungen aus Satellitensystem und -konstellationssicht an die Satellitennutzlast vorzugeben. Im Projekt 5G-AUTOSAT KI werden diese dann mit den Anforderungen der ausgewählten automobilen Anwendungen und deren KI-Verarbeitungsverfahren, die im Satelliten eingesetzt werden sollen, abgeglichen um die Leistungsanforderungen an den Prozessor im Satelliten abzuleiten und in der Echtzeit-Demonstration abzubilden. Damit kann 5G-AUTOSAT KI auf Ergebnissen der Infrastrukturstudie 5G-IS aufbauen, eine Überlappung ist aber in keinsten Weise gegeben.

Airbus plant im Rahmen des vorgeschlagenen Vorhabens MaLeTeSa – Maschinelles Lernen in Telekommunikations-Satelliten – den Einsatz von Künstlicher Intelligenz/Maschinellem Lernen allgemein für die Anwendung in der digitalen Satellitenkommunikation voranzutreiben. Dabei sollen die Anwendungsfälle (a) Orchestrierung des Netzwerkknotens im Satelliten und (b) Anomalie-Erkennung und Vorhersage für die Nutzlast mit Hilfe eines Labormusters in einer raumfahrt-relevanten Hardwarelösung realisiert werden um die Machbarkeit und die Leistungsfähigkeit damit zu demonstrieren. Im Gegensatz dazu soll im 5G-AUTOSAT KI Vorhaben der Nutzen und die Implementierung von KI-Verfahren zur Verarbeitung von automobilen Anwendungsfällen, d.h. von Nutzerdaten („Edge Computing“) im Satelliten untersucht werden, wobei unter Umständen auch noch leistungsfähigere Prozessierungs-Hardware eingesetzt werden muss.

Die generellen Erkenntnisse von MaLeTeSa werden in das 5G-AUTOSAT KI Vorhaben einfließen, im Speziellen für die übergreifende Analyse bezüglich der Harmonisierung der KI zur Netzwerk-Orchestrierung (über die gesamte Kette vom Fahrzeug über den Satelliten bis zum Kernnetzwerk). Die beiden Vorhaben sind damit komplementär aber nicht überlappend, eine Doppelförderung ist somit bei Airbus nicht gegeben.

#### 2.6.4 Das 5G-Autosat Projekt (Airbus, Fraunhofer IIS und ZF)

Aufbauend auf den in den vorgegangenen Abschnitten beschriebenen Arbeiten haben die Partner ZF, Fraunhofer IIS und Airbus Defence and Space Ende 2018 das Verbundprojekt 5G-AUTOSAT konzipiert. Das wesentliche Ziel im Rahmen des Verbundvorhabens 5G-AUTOSAT war es die Möglichkeiten der Satellitenkonnektivität für den Mobilitätssektor aufzuzeigen und die Kooperation mit der Automobilbranche voranzutreiben.

Um die technischen Voraussetzungen für die Integration von Satellitenkonnektivität in Fahrzeuge voran zu treiben, wurde dazu ein leistungsfähiger und kostengünstiger Lösungsansatz für ein vollintegriertes satellitenfähiges 5G-Kommunikationsmodul entwickelt, das auch C2X-Konnektivität ermöglicht. Es sollte sich durch die folgenden Alleinstellungsmerkmale auszeichnen:

- Dual-mode Satelliten- und terrestrische Mobilfunk-Konnektivität resultierend in einer signifikanten Erhöhung der Kommunikationsverfügbarkeit
- Vollständige Kompatibilität mit 5G Standards (3GPP)
- Zu gegenwärtigen Automobilantennen kompatible Frequenzbereiche (L-, S-, C-Bänder) zwecks guter Akzeptanz durch Automobilhersteller und deren Kunden weltweit
- Aufbauend auf bestehenden Kommunikationsmodulen mit standardisierter Anbindung ins Fahrzeug
- Erhöhung der Sicherheit für den Fahrer (z.B. eCall, Alarm- und Gefahrenmeldung) aber auch der
- Widerstandsfähigkeit der Fahrzeugsysteme gegen Cyber-Angriffe (durch Dual Path Verifikation)
- Digitale Dienste für OEMs (z.B. globale Broadcast Nachrichten für kritische Software Updates)

Das Projekt wurde im August 2019 – unterstützt durch eine Zuwendung des DLR Raumfahrtmanagements (gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages) – gestartet und endete nach einer Laufzeit von 17 Monaten im Dezember 2020. Im ersten Teil des Projektes wurden Untersuchungen durchgeführt zu:

- Den Randbedingungen von Automobil, Satellit und der 3GPP Standardisierung
- Der Identifikation und Auswahl Nutzungsfälle → Anforderungen
- Der Festlegung Frequenzen, Datenraten, Architektur, Orbits, Geometrie
- Resultierend in der Konzeptionierung des Kommunikationsmoduls

In der anschließenden Demonstratorphase wurde ein Echtzeit-Labordemonstrator basierend auf dem Open Source Software Stack OpenAirInterface (OAI, [www.openairinterface.org](http://www.openairinterface.org)) entworfen und aufgebaut, der die Grundfunktionalität von New Radio über Satelliten für automobiler Anwendungsfälle emuliert. Dabei wurden mit Hilfe eines Echtzeit-Kanalemulators die langen Verzögerungszeiten von bis zu 250 ms über GEO Satelliten sowie die große maximale Bandbreite (100 MHz) von New Radio im Bereich bis 6 GHz abgebildet, um wesentliche Funktionen zu testen und die erreichbare Leistungsfähigkeit zu überprüfen. Mit dem im Projekt entwickelten Echtzeit-Setup (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) konnten mit realistischen Parametern für Satelliten- und automobiler Antennen Charakteristiken sowie verfügbare Sendeleistungen KPIs wie zum Beispiel die erreichbare Latenzzeit, erreichbare Datenraten und die Zuverlässigkeit der Übertragung extrahiert werden.

Aus der Bewertung der Testergebnisse von Protokollen, Datenraten, Laufzeitverzögerungen und der Emulation geeigneter Nutzungsfälle leiten sich die notwendigen nächsten Schritte (Roadmap) zur Verwertung der Projektergebnisse und einer möglichen Kommerzialisierung des Kommunikationsmoduls sowie Inputs für die 3GPP Standardisierung ab.



Abbildung 18: Konzept und Implementierung des Labordemonstrators 5G Autosat

### 2.6.5 Satellitenkommunikation und Kommunikationsprotokolle (FAU)

Im Bereich Satellitenkommunikation wurden im Rahmen vom DLR-Projekt *Transparent Multichannel IPv6* (TMC-IPv6, FKZ 50YB1705) Protokollentwicklungen, Simulationen und Messungen für Multipath-Kommunikation über geostationäre Satelliten und terrestrische Anbindungen durchgeführt.<sup>1</sup> Die Kombination von stark heterogenen Übertragungskanälen erlaubt es, die jeweiligen Vorteile der einzelnen Kanäle (terrestrisch: geringe Latenz, geostationärer Satellit: hohe Datenrate) zu vereinen, siehe Abbildung 19. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.. Durch die gleichzeitige Verfügbarkeit mehrerer Kommunikationstechnologien ist Multipath-Kommunikation sowohl bei der Standardisierung von Internetprotokollen (IETF) als auch für 3GPP relevant. Innerhalb der 3GPP wird dies unter dem Begriff *Access Traffic Steering, Switching & Splitting* diskutiert.

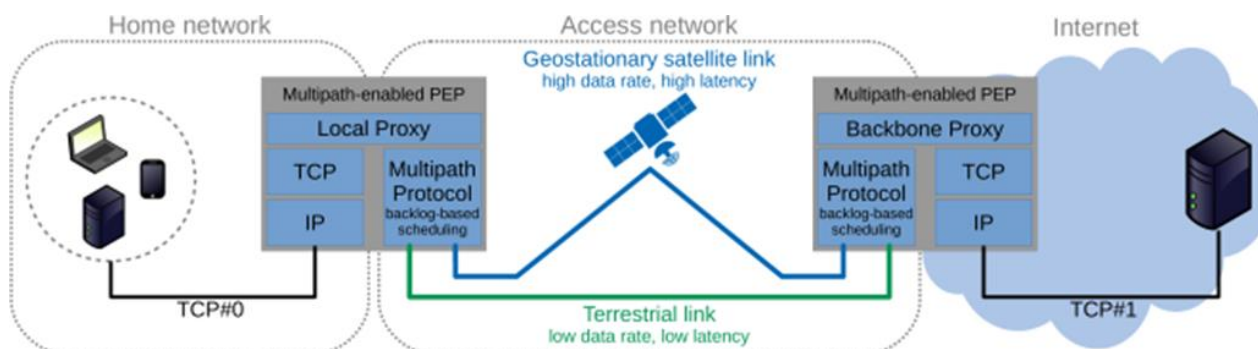


Abbildung 19: Multipath Kommunikation mit terrestrischen Links und Satellitenlinks

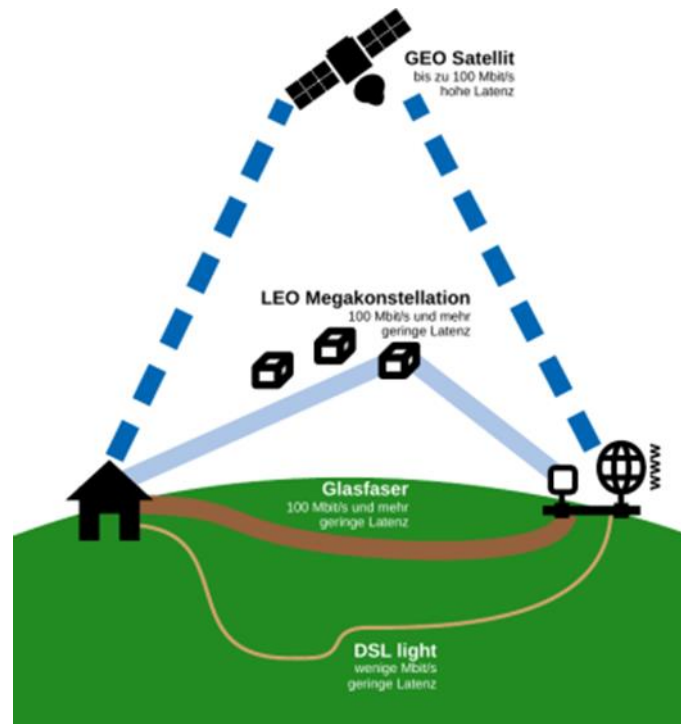
Des Weiteren wurde im Auftrag der ESA und dem DLR eine Messkampagne für eine Vielzahl unterschiedlicher Anwendungen über verschiedene stationäre Internetzugangstechnologien (geostationäre Satelliten, Starlink Megakonstellation, terrestrisch DSL und LTE) durchgeführt, siehe Abbildung 20. Die dabei erhaltenen Ergebnisse zeigen, dass die Performance von Anwendungen stark von den Eigenschaften des Kommunikationskanals abhängt. Weitere Details sind online verfügbar.<sup>2</sup>

Die Ergebnisse der zwei beschriebenen Projekte haben zur Initiierung eines weiteren DLR-Vorhabens geführt: QUICSAT - Neue Protokollentwicklungen für schnelles Internet über Satellit (FKZ 50YB2112). Dieses Vorhaben hat das Ziel, Internetprotokolle und Anwendungen für (geostationäre) Satellitenverbindungen zu verbessern. Hierzu soll das Potenzial neuer Technologien (Queue-Management, Überlastkontrollalgorithmen und insbesondere das neue QUIC-Protokoll) untersucht werden. Ultimatives Ziel ist es, dass Internet über Satellit eine ähnliche Performance wie terrestrische Internetanschlüsse aufweist. Das QUICSAT-Vorhaben liefert einen Beitrag zur Protokollforschung,

<sup>1</sup> J. Deutschmann, K.-S. Hielscher, R. German: "An ns-3 Model for Multipath Communication with Terrestrial and Satellite Links," 20th Int. GI/ITG Conf. on Measurement, Modelling and Evaluation of Computing Systems, Saarbrücken, March 2020

<sup>2</sup> <https://www.cs7.tf.fau.de/forschung/quality-of-service/forschungsprojekte/sat-internet-performance>

Standardisierung und bei begleitenden Referenz-Implementierungen und startet am 1. Oktober 2021. Im QUICSAT-Projekt liegt der Fokus auf dem stationären Breitbandzugang für Privat- oder Firmennutzer. Automobile Anwendungsszenarien und Mobilität, die Integration in 5G-Netzwerke sowie die Anwendung von KI ist nicht vorgesehen. Dadurch ist sichergestellt, dass es keine inhaltlichen Überschneidungen gibt und keine Doppelförderung vorliegt.



**Abbildung 20: Vergleich von verschiedenen Internetzugangstechnologien**

### 2.6.6 5G Entwicklung und Standardisierung (Fraunhofer IIS)

Das 3GPP Standardisierungs-Projekt ESA ALIX (<https://artes.esa.int/projects/alix>) läuft seit 01/2018 bis voraussichtlich 12/2021. Das Konsortium aus Thales Alenia Space, TNO, Nomor (nun ersetzt durch Magister aus Finnland) und Fraunhofer IIS und seit der Rel-17 auch dem Fraunhofer HHI verfolgt das Ziel einer engen Integration von Satellitenkommunikation in 5G Systeme (LEO, MEO & GEO). Das Projekt konzentriert sich auf 3GPP-Beiträge in allen notwendigen 3GPP-Arbeitsgruppen und nutzt die Expertise des breit aufgestellten Konsortiums. Die adressierten 3GPP-Arbeitsgruppen sind: SA1 (Anwendungen und Anforderungen), SA2 (5G Systemarchitektur, Roaming, Handover), RAN1 (Anpassungen an 5G für Satellitenkommunikation auf der physikalischen Schicht, RAN 2 (NR Protokollstack, Handovermechanismen), RAN 3: (Architektur insbesondere Trackinggebiete, Paging und Linkaggregation). Das Fraunhofer IIS konzentriert sich auf die Arbeit in RAN3 und RAN1 und verfolgt die Beiträge in den anderen Gruppen. Dieses Projekt ist also reine Standardisierungsarbeit, ohne Entwicklung von System Level Simulatoren oder Demonstratoren.

Das Fraunhofer IIS ist Teil des H2020 5G-ALLSTAR Projektes ([www.5g-allstar.eu](http://www.5g-allstar.eu)), bei dem das Fraunhofer IIS für die Entwicklung des Basisbandteils von New Radio für Basisstation (gNB) und Modem (User Equipment, UE) des Europäischen Demosetups zuständig ist. Dieser Prototyp basiert auf OAI und wird eine allererste Basisfunktionalität für den Betrieb über einen Ka-Band GEO Satelliten beinhalten. Umfangreiches Laborequipment (OAI Setup für LTE und 5G New Radio (siehe [LINK!!!Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.](#)), Spektrum-Analysatoren, Kanalemulator etc.) steht für die Nutzung im Projekt zur Verfügung. Das Setup unterstützt nur eine Basisstation und ein einziges Terminal (User Equipment, UE).

Das ESA Projekt Satis5 (<https://artes.esa.int/projects/satis5-0>) entwickelt einen Technologiedemonstrator für 5G Seamless Satelliten Netzwerke zur Live Demonstration von den Möglichkeiten und Vorteilen und Grenzen dieser Satelliten-Integration für Backhauling Anwendungsfälle

via Satellit. Die Testplattform ermöglicht Untersuchungen der Satellitennetzwerke in Bezug auf das Management des verteilten Systems, der Einführung einer Satelliten Konvergenz Schicht und auch die spätere Integration von New Radio Übertragungstechnologie. Im Satis5 Projekt wird hingegen noch nicht 3GPP Übertragungstechnik über den Satelliten verwendet, so wie es in der Release-17 standardisiert wird.

Das 5G-AUTOSAT Projekt wurde Ende 2020 erfolgreich abgeschlossen. In der Zusammenarbeit von Airbus und ZF wurde die Anwendung von dem aufkommenden neuen 5G-NTN Standard für den Einsatz von Fahrzeugen untersucht. Das Fraunhofer IIS entwickelte hier den 5G-NTN Labordemonstrator für GEO Szenarien, basierend auf dem Open Source Software Framework OpenAirInterface und Vorarbeiten aus dem oben beschriebenen 5G-ALLSTAR Projekt, wiederum auch begrenzt auf eine Basisstation und ein einzelnes Terminal.

Des Weiteren bearbeitete das Fraunhofer IIS ein kleineres Projekt 5G-Emusat im Rahmen des ESA 5G-Meteors Makerspace (<https://5gmeteors.eurescom.eu>), in dem das Ziel Adaptionen von OAI für LEO Szenarien war. Ein Laboraufbau mit Kanalemulator wurde am Ende des Projektes (01/2021) der ESA erfolgreich demonstriert



**Abbildung 21: OpenAirInterface Setup 5G New Radio mit gNB und UE**

Im Februar 2021 wurde vom Fraunhofer IIS erstmalig weltweit eine Live-Übertragung von 5G New Radio über einen GEO Satelliten gezeigt <sup>3</sup>. Die Implementierung für diesen funktionalen Nachweis von 5G-NTN basierte auf OpenAirInterface und beinhaltete Weiterentwicklungen von 5G NR für NTN hauptsächlich auf dem PHY Layer, welche in der aktuellen Release-17 spezifiziert werden. In Zusammenarbeit mit einem Satellitenoperator sind in Q3/Q4 2021 5G-NTN detailliertere PHY Layer fokussierte Performanz-Tests mit einem Satellitenoperator geplant, ebenfalls im Rahmen des 5G-Meteors Makerspace.

In allen vorher genannten Aktivitäten (5G-ALLSTAR, 5G-AUTOSAT, 5G-Emusat) konzentrierte sich das Fraunhofer IIS auf die unteren 5G Protokollschichten PHY und MAC mit einem einzigen UE, einer einzigen Basisstation und reine Satellitenszenarien mit 5G ohne Handover in terrestrische Netze und ohne 5G QoS Management. Dieser Ansatz wird erstmalig erweitert im neuen ESA Projekt **5G-GOA** (<https://artes.esa.int/projects/5ggoa>, Start 03/2021), in dem Live Übertragungen über einen GEO Satelliten mit dem vollen 5G RAN Protokollstack (PHY, MAC, RLC, PDCP, SDAP, RRC) und 2 UE's mit rudimentären 2 unterschiedlichen QoS Klassen zum Ziel gesetzt wurden. 5G-AUTOSAT-KI wird auf diesen Entwicklungen aufbauen, zum einen die Schnittstellen zur KI und zum anderen die Erweiterungen zu Handovern zwischen Basisstationen entwickeln.

In keinem der vorher genannten Projekte mit Realtime Demonstratoren wurde vom Fraunhofer IIS bisher KI eingesetzt. Somit ist 5G-AUTOSAT KI das allererste Forschungsprojekt, was KI sowohl in Simulation als auch Echtzeit-Demonstratoren vom neuen 3GPP Standard 5G-NTN einsetzen und dessen

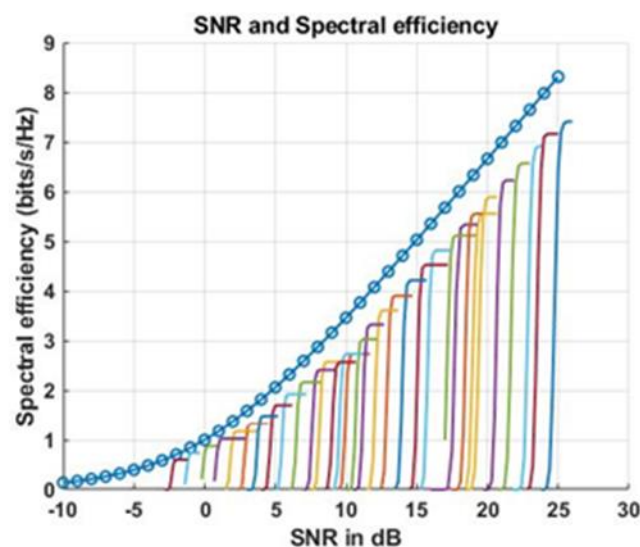
<sup>3</sup> [https://www.iis.fraunhofer.de/de/pr/2021/20210205\\_ks\\_5g\\_new\\_radio.html](https://www.iis.fraunhofer.de/de/pr/2021/20210205_ks_5g_new_radio.html)

Möglichkeiten evaluieren wird. Berücksichtigt man den zu erwartenden stärkeren Einsatz von KI in 6G, so wie es in diversen 6G Konferenzen genannt wurde, legt unser Vorhaben 5G-AUTOSAT-KI mit den Voruntersuchungen die Grundlagen für zukünftige hybride KI-optimierte Netzwerke.

### 2.6.7 Simulation von Konnektivität in Verkehrssystemen (Fraunhofer IIS)

Am Fraunhofer IIS wurden seit 2019 u.a. im Rahmen von 5G Bavaria an verschiedenen Teilsimulationen von 5G NR über Satellit gearbeitet. Die Grundlage bildet hier eine Matlab-basierte Simulationsumgebung für eine detaillierte PHY-Layer (Physical Layer) Link-Level Simulation inkl. Prototyping von einigen MAC-Layer Aspekten. Um eine Simulation der Konnektivität in Verkehrssystemen zu erstellen wird zusätzlich eine System-Level Simulation benötigt, die auch Netzwerkaspekte mit abbilden kann. Hierzu wurden bereits Vorarbeiten geleistet, um verschiedene bereits existierende auf Open-Source basierende Tools auf ihre Verwendbarkeit zu untersuchen. Diese Event-basierten Tools eignen sich besser für eine Netzwerk-Level Simulation, da sie die Möglichkeit bieten, notwendige Funktionen in Verbindung mit dem 5G Protokoll abbilden zu können. Grundsätzlich können mit dieser Art Simulatoren verschiedene Messungen z.B. Datendurchsatz und/oder Latenz für spezifische Eingangsparameter unter Abhängigkeit von Antennenaspekten, Übertragungskanäle, Nutzerverteilungen am Boden, unterschiedlicher Satellitenparameter (z.B. Satellitenkonstellation) und verschiedener Kanalmodelle durchgeführt werden.

**Matlab basierte System Simulation:** In der zur Verfügung stehenden Matlab basierten Simulationsumgebung können spezifische Physical Layer Aspekte der CP-OFDM Wellenform sowie auch deren dazu gehörige 3GPP/ITU Kanalmodelle simuliert werden. Diese sind essentiell zur Erstellung der BLER- und der Spektralen-Effizienz-Kurven, die für unterschiedliche SINR-Werte abhängig von der Modulation und der Codierung sind, siehe Abbildung 22 Da die Anzahl der HARQ retransmissions das SINR beeinflusst ist es notwendig das effektive SINR zu ermitteln. Diese Kurven bilden die Grundlage zur Ermittlung des nutzerspezifischen- und des Gesamtnetzwerk-Durchsatzes.



**Abbildung 22: Spektrale Effizienz vs. SNR in 5G-NR**

Bisher wurden detaillierte Link-Level Simulationen für ausgewählte NTN TDL Kanalmodelle aus der 3GPP TR 38.811 ermittelt um zu verifizieren, dass die Berechnung der effektiven SINR-Werte und die der Physical Layer Abstraktion für das gleiche Kanalmodell übereinstimmen. Zusätzlich zu den innerhalb der 3GPP standardisierten Kanalmodelle wurden auch sog. „Flat Fading“ Kanäle wie in ITU-R P681 berechnet, welche typischer Weise zur Evaluierung der Performanz von L-Band und S-Band Satellitensystemen herangezogen werden.

Um ein erstes Verständnis der Performanz der 5G NR Wellenform zu erhalten, wurden die Bandbreitenzuweisungen von LTE und 5G NR analytisch auf Basis von Durchsatz, Spektraler Effizienz als Key Performance Indicator (KPI) miteinander verglichen.

Um einen echten End-to-End Durchsatz, Latenz oder Jitter für spezifische Anwendungen zu berechnen ist ein Event-basierter Netzwerk-Simulator der auch Queueing und Buffering Modelle in Bezug auf den 5G Protokoll-Stack beherrscht notwendig.

**Discrete Event Simulator:** Am Fraunhofer IIS wurden bereits zwei Open-Source Netzwerk Simulatoren, namentlich OMNET++ und ns-3, auf deren Nutzbarkeit für Event-getriebene Simulationen zur System-Level Simulation geprüft. Hierzu wurde eine Metrik entwickelt, die auf Basis des 4G LTE Standards sowohl die Architektur als auch die Performanz vergleicht. Hierbei hat sich für diese Zwecke OMNET++ aufgrund der Unterstützung einer Visualisierung, der Skalierbarkeit und der Verfügbarkeit von Funktionalitäten zur Ermittlung der Features des LTE (SimuLTE) und 5G-NR (Simu5G) Protokoll Stacks durchgesetzt. Das nachfolgende Bild zeigt eine mögliche Implementierung inkl. einer 2D/3D Visualisierung und einer 3D Kanalsimulation mit Objekten (wie z.B. Bäume und Gebäude) anhand einer Open Street Map unter Verwendung von Ausbreitungsmodellen von SimuLTE für feste Nutzer am Boden. Durch Implementierung einer TCP/IP basierten Schnittstelle können ortsabhängig die Performances aus den Physical Layer Abstraktionen aus Matlab integriert werden.

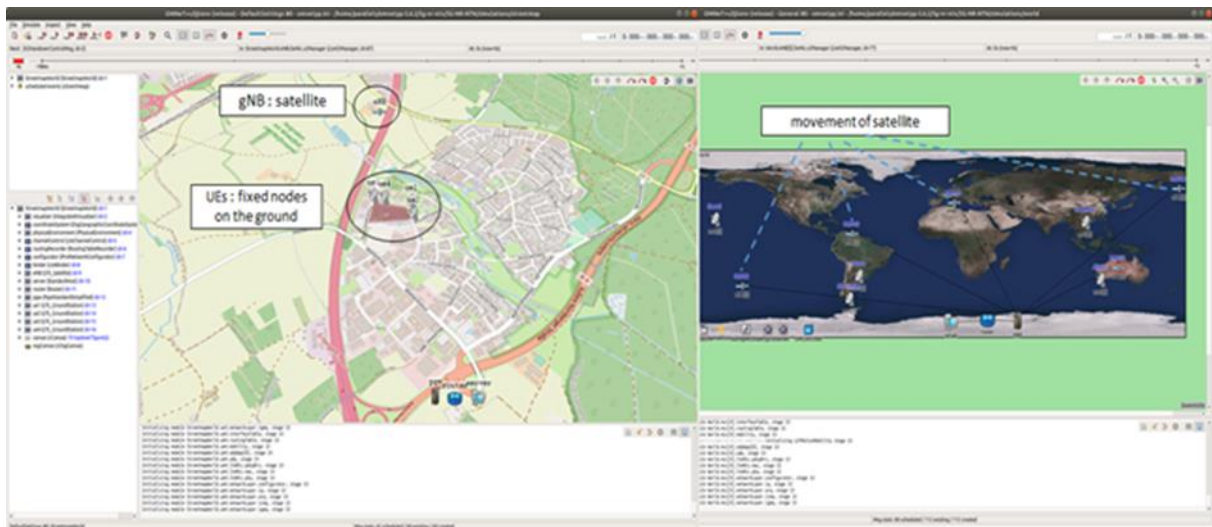


Abbildung 23: Open Street Map und 2D World Maps in OMNET++

## 2.6.8 Simulation von Verkehrssystemen und Fahrzeugkommunikation (FAU)

Bei der FAU wurde für die externe Vernetzung das international stark beachtete Open-Source-Werkzeug Veins zur kombinierten Simulation des Straßenverkehrs und der Kommunikation entwickelt.<sup>4</sup> Dies wurde für zahlreiche Fragestellungen eingesetzt (u.a. Vergleich von ETSI ITS-G5 und IEEE-Wave<sup>5</sup>, Privacy, Multi-Hop über parkende Fahrzeuge, dreidimensional, fortgeschrittene V2X-Use Cases mit dem 5G-QoS-Modell<sup>6,7</sup>). Die Simulation des komplexen 5G-Protokollstacks dient zur Leistungsbewertung von verschiedenen V2N (Vehicular-to-Network) Anwendungsfällen. Dieser Simulator wird in Zusammenarbeit mit dem Fraunhofer IIS sukzessive erweitert. Wie im Abschnitt Stand der Wissenschaft und Technik beschrieben, wird aber in diesen Frameworks aktuell noch keine Satellitenkommunikation berücksichtigt.

<sup>4</sup> C. Sommer, R. German and F. Dressler: "Bidirectionally Coupled Network and Road Traffic Simulation for Improved IVC Analysis", IEEE Transactions on Mobile Computing 10 (2011), Nr.1, S.3-15.

<sup>5</sup> D. Eckhoff, N. Sofra, R. German: "Performance Study of Cooperative Awareness in ETSI ITS G5 and IEEE Wave". In: IEEE (Hrsg.): Proceedings of 10th IEEE/IFIP Conference on Wireless on Demand Network Systems and Services, Banff, Canada, March 2013.

<sup>6</sup> T. Deinlein, R. German, A. Djanatljev. 5G-Sim-V2I/N: Towards a Simulation Framework for the Evaluation of 5G V2I/V2N Use Cases, European Conference on Networks and Communications (EuCNC), Dubrovnik, Croatia, June 2020.

<sup>7</sup> T. Deinlein, R. German, A. Djanatljev.: Evaluation of the 5G Data Plane for Advanced Vehicular Use Cases with 5G-Sim-V2I/N, 12th IEEE Vehicular Networking Conference (VNC 2020).

## 2.6.9 KI Anwendungen

**Im Satelliten:** Im Bereich der Technologieentwicklung wurde der kommerzielle Trend der Künstlichen Intelligenz seit einigen Jahren verfolgt. Seit ca. 2019 findet er auch verstärkt Interesse in der Raumfahrt und seitdem wurden einige Technologie Vorhaben gestartet:

- CHICS
- MLAB
- ADAP

### *CHICS - COTS Highly Integrated Computer System*

Der CHICS OBC wird derzeit von EVOLEO in Zusammenarbeit mit Airbus als Anwendungspartner entwickelt. Basierend auf einem MIL-grade Zynq Ultrascale+ MPSoC als Recheneinheit und überwacht von einem Flash-FPGA, ist dieser Bordcomputer für zukünftige New-Space-SmallSats konzipiert. Mit ihren Fähigkeiten zur Nutzlastintegration ist sie eine hervorragende Recheneinheit für Faltungsneuronale Netze (CNN) zur Bildvorverarbeitung in Erdbeobachtungskonstellationen.

### *MLAB- Machine Learning Application Benchmarking on COTS Inference processors*

Airbus hat den Auftrag für die MLAB-Studie in Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München und OroraTech erhalten. Das Ziel der Studie ist es, einen Benchmark für Machine-Learning-Anwendungen für Weltraummissionen auf Basis von COTS-Inferenzprozessoren zu erstellen. Vielversprechende DPUs wie Xilinx Zynq US+, Xilinx Kintex, Xilinx Versal, Myriad VPUs und andere werden für den Stand der Technik von Klassifikations- und Segmentierungsalgorithmen mit einer Benchmarking-Methode evaluiert, die vom MLPerf-Benchmark inspiriert ist, der häufig in der Embedded-Industrie verwendet wird. In erster Linie wird eine Bewertung der aktuellen Leistung von leicht verfügbaren Algorithmen und Hardware-Plattformen durchgeführt. Das endgültige Ziel ist es, Schlussfolgerungen darüber zu ziehen, welche Frameworks, welche Entwicklungsabläufe und welche Hardware für die Implementierung von ML-Algorithmen in zukünftigen Weltraummissionen verwendet werden sollen.

### *ADAP- Anomaly Detection Anomaly Prediction*

Airbus leitet das Konsortium mit EVOLEO und dem Fraunhofer Institut für das Projekt ADAP, in dem ein TRL6-Hardware-Demonstrator für die On-Board-Anomalie-Überwachung von Telemetrien mit Hilfe künstlicher Intelligenz entwickelt wird. Ziel ist es, Anomalien zu erkennen oder sogar Ausfälle auf Geräteebene vorherzusagen, um kostspielige Ausfallzeiten auf Satelliten zu vermeiden. Das Projekt deckt die gesamte Entwicklung der Machine-Learning-Lösung ab, von der Datensatzerstellung bis zur Hardware-Implementierung.

**Im Kommunikationssystem:** Zum Thema KI in Kommunikationssystemen laufen aktuell mehrere Arbeiten am Fraunhofer IIS:

- 6G-SENTINEL (<https://www.iis.fraunhofer.de/de/ff/kom/mobile-kom/6g-sentinel.html>): Hier ist für 5G-AUTOSAT-KI die System-Level-Simulation (SLS) für dynamische hybride (satelliten- und terrestrische) Netzwerke relevant, mit der KI-Anbindung für Spektrums- und Ressourcenallokation und nahe an der O-RAN Architektur (s.u.), die sowohl für 5G als auch 6G wichtig sein wird. Die Arbeiten in 6G-SENTINEL sind ein erster Schritt am IIS zum Einsatz von KI in hybriden Kommunikationsnetzen und die Arbeiten sind rein fokussiert auf Simulationen, im Gegensatz zu 5G-AUTOSAT-KI, bei dem auch der Einsatz von KI im Echtzeit Demonstrator anvisiert wird. Im 5G-AUTOSAT-KI werden diese Arbeiten fortgeführt, um komplexere und dynamischere Netzwerktopologien zu unterstützen.
- Das DSAI Projekt, speziell mit den Teilprojekten "Algorithmen, Tools und Schnittstellen für verteiltes Lernen und Inferenz", "Effiziente Signalverarbeitung und -übertragung durch Spike-basierter neuronale Netze (SNN)" und "KI-basierte Ansätze zum Dynamic Spectrum Sharing". In diesem Projekt werden die KI-Modelle zum Austausch von Messages zwischen Endgeräten (UEs) und der Basisstation (gNB) gemäß des 3GPP TR 22.874 in der Omnet++ basierten Simulation für rein terrestrische Anwendungsfälle ohne

Satellitenkomponente implementiert (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Diese Messages dienen dem Training der KI in der Basisstation (z.B. gemäß O-RAN Architektur dem RAN Intelligent Controller), welche sowohl für Optimierungen von Anwendungen als auch vom 5G System verwendet werden kann.

- ESA DAWN Projekt: In diesem kleinen Projekt wird zusammen mit dem Fraunhofer FOKUS ein Unified Data Layer für ML/AI an der Edge und im Kernnetz konzipiert und in der Simulation implementiert, sowohl für das Radio Access Network für das Kern-Netzwerk (vom Fraunhofer FOKUS) und für die Satellitenkommunikation. Die Arbeiten in DAWN implementieren allerdings mit einer Schnittstelle zur SLS eines einfachen Satellitennetzes in Matlab und nicht des umfassenderen System Level Simulators in Omnet++ für hybride Szenarien, so wie es in 5G-AUTOSAT-KI geplant ist. Soweit es geht, werden Schnittstellenkonzepte aus DAWN wiederverwendet.
- H2020 ATRIA beschäftigt sich mit der Simulation der Satelliten-gestützten Übertragungsstrecke und im speziellen mit der Modellierung von flexiblen Architekturen der Satelliten-Nutzlast im Allgemeinen, unabhängig vom 5G Kommunikationssystem.

**Bei der Fahrzeugkommunikation:** Erste Arbeiten zur Anwendung von KI in der Fahrzeugkommunikation wurden veröffentlicht, diese berücksichtigen bisher aber keine Satellitenkommunikation bzw. hybride Netzwerke. In einer Dissertation zur Car-to-Car Kommunikation wurde ein echtzeitfähiges Metamodell erstellt, welches auf einem neuronalem Netz basiert.<sup>8</sup> Des Weiteren wurde Mustererkennung angewendet, um Fahrverhalten-Szenarios aus realen Daten zu gruppieren und kategorisieren,<sup>9</sup> welches weiterhin durch die Verwendung eines rückgekoppelten neuronalen Netzes verbessert wurde.<sup>10</sup>

**In Kommunikations- und Energienetzen:** Die FAU hat sich im Rahmen von studentischen Arbeiten mit maschinellem Lernen und künstlicher Intelligenz für Kommunikationssysteme und Netzwerkprotokolle auf höheren Schichten beschäftigt. Die hierbei identifizierten Anwendungen sind vielseitig: Traffic Classification, Traffic Prediction, Traffic Engineering, Resource Management Optimization and Scheduling sowie Security bzw. Intrusion Detection. Darüber hinaus hat der FAU Lehrstuhl Informatik 7 weitreichende Erfahrungen mit dem Einsatz von KI in Energienetzen, auch bezeichnet als Smart Energy:

- Steuerung von Energiesystemen auf Basis selbstlernender Algorithmen<sup>11</sup>
- Einsatz von Reinforcement Learning für die intelligente Steuerung von Ladevorgängen
- Einsatz von maschinellen Lernverfahren für Batteriezustandsschätzer

---

<sup>8</sup> C. Stadler, "Ein effizientes Metamodell des Car2Car Kommunikationsaufkommens abhängig von der Umgebungstopologie", Doktorarbeit, 2018

<sup>9</sup> F. Montanari, R. German and A. Djanatliev, "Pattern Recognition for Driving Scenario Detection in Real Driving Data," 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2020, pp. 590-597.

<sup>10</sup> F. Montanari, H. Ren, and A. Djanatliev, "Scenario Detection in Unlabeled Real Driving Data with a Rule-based State Machine supported by a Recurrent Neural Network." *Proceedings of the 2021 IEEE 93rd Vehicular Technology Conference* 2021.

<sup>11</sup> [https://www.cs7.tf.fau.de/forschung/smart\\_energy/steuerung-von-energiesystemen-auf-basis-selbstlernender-algorithmen](https://www.cs7.tf.fau.de/forschung/smart_energy/steuerung-von-energiesystemen-auf-basis-selbstlernender-algorithmen)

## 3. Detaillierte Projektdarstellung

### 3.1 Verwendung der Zuwendung

Die Zuwendung wurde in unserem Fall für Arbeitszeit und Reisen verwendet. Anfänglich wurde auch noch Hardware berücksichtigt, die im Projektverlauf nicht benötigt wurde. Das dafür vorgesehene Budget wurde in Arbeitszeit umgewandelt. Ebenso wurde mit dem nicht verwendeten Reisebudget verfahren.

### 3.2 Vergleich erzielte und geplante Ergebnisse

#### 3.2.1 Arbeitspaket 1

Im ersten Arbeitspaket *Anforderungen und Konzepte – Kommunikationsmodul und Fahrzeuge* war das Ziel eine gesamthafte Anforderung an das fahrzeugseitige System zu definieren.

Dazu wurden vier Teilschritte definiert.

**Evaluation der Funktion des Kommunikationsmoduls:** Das Kommunikationsmodul muss die Funktionen, die es heute bereits beherrscht um eine NTN-Verbindung zu Satelliten erweitern. Um die Abhängigkeit von heutigen Standardverbindungen wie „cellular“ zu reduzieren, soll das Kommunikationsmodul in Zukunft über die Möglichkeit verfügen, sich ebenfalls mit Satelliten zu verbinden und diese als Datenquelle zu nutzen. Dabei bestehen verschiedenste Herausforderungen, die es gilt zu überwinden. Zum einem ist solch eine Fähigkeit, die Verbindung zu Satelliten, abhängig von dem Empfangsbereich des Chips. Die ausgewählten Satelliten operieren möglicherweise auf einer Frequenz, die von heutigen NTN-Chips nicht umfasst wird. Somit ist die Möglichkeit des Empfangs von diesem Faktor abhängig. Die Grundlegende Gesamtarchitektur in einem Fahrzeug ist ein zusätzlicher Punkt der Beachtung finden muss. Die Menge an Energie, die aus einem Fahrzeug entnommen werden kann, ist stark begrenzt und reglementiert. Somit kann die Sende und Empfangsleistung darunter leiden. Auch auf diesen Punkt muss Rücksicht genommen werden. Chipverfügbarkeit und Energieaufnahme sind nur zwei Herausforderungen. Integration, Akzeptanz, Antennentechnik, mögliche Funktionen und künstliche Intelligenz weitere. Alle Punkte müssen betrachtet werden und separat untersucht. Allerdings sehe ich bei keiner Herausforderung in diesen Gebieten ein Hindernis. Somit wurden in diesem Punkt alle wichtigen Punkte identifiziert, die für eine zukünftige Entwicklung entscheidend sind. Allerdings muss auch berücksichtigt werden, dass wir als Hersteller der Steuergeräte nicht allzu großen Einfluss ausüben können und auf die Entwicklung der Chip Hersteller und deren Definitionen angewiesen sind.

**Eventuelle Festlegung der Funktion anderer Fahrzeugsteuerelemente:** Bereits am Anfang des Projektes sahen wir keine Notwendigkeit oder einen speziellen Nutzen, ein weiteres Steuergerät im Fahrzeug zu nutzen. Für unser Projekt muss und sollte die Leistungsfähigkeit des Kommunikationsmodules ausreichen. Zwar besteht die Möglichkeit eine Hochleistungs-Recheneinheit mit einzubeziehen, allerdings würde ich von diesem Schritt nach wie vor aus mehreren Gründen Abstand nehmen. Zum einen wird unser Vorhaben wesentlich komplexer und komplizierter, wenn wir Datenströme und Funktionen auf Steuergeräte aufteilen und zusätzliche interne Kommunikationen einfügen müssen. Und zum anderen berauben wir uns der Flexibilität. Das Projekt soll zukunftssicher gestaltet werden. Ein Punkt, der in der automobilen Branche sehr wichtig ist, ist die Minimierung der Abhängigkeiten. Benötigen wir für unser Vorhaben als Voraussetzung zwei Steuergeräte oder noch mehr, geben wir ein Maß an Abhängigkeit vor, welches zunehmend abschreckend wirken kann. Daher vertrete ich die Meinung wir sollten, sofern nicht anders möglich, unser Hauptaugenmerk auf die Verwendung einer Hardware im Fahrzeug fokussieren.

**Betrachtung des Software Backends für Fahr- und Komfortfunktionen:** Bereits im Vorgängerprojekt betrachteten wir die unzähligen Softwaremöglichkeiten, die sich für ein Fahrzeug eignen. Nach intensiver Betrachtung hat sich bis dato an dieser Auswahl wenig geändert. Wir können nicht erwarten das die Satellitenverbindung die gleichen Leistungen wie ein 4G/5G Mobilfunknetz, wenn man von dem theoretischen Maximum ausgeht, erreichen wird. Vermutlich müssen wir für eine

Weltweite Verfügbarkeit den Kompromiss in Latenz und Geschwindigkeitseinbußen eingehen. Die schränkt zwar den Funktionsumfang ein, lässt aber noch viele nützliche und gewollte Möglichkeiten bestehen.

Eine Funktion die großes Interesse hat ist das „VM – Vehicle Monitoring“. Hier werden verschiedenste Daten vom Fahrzeug überwacht und an eine Zentrale weitervermittelt. Zum einen lassen sich so die Health Daten überprüfen aber auch der genaue Standort in der Welt ermitteln. Letzteres kann in Risikogebieten von großem Interesse sein. Was diese Funktion ebenfalls sehr Interessant für uns macht, ist das Datenaufkommen. Dieses ist hier gering, was für einen ersten Versuch durchaus attraktiv ist.

Ebenfalls eine in Betracht zu ziehende Funktion ist die „SA – Situational Awareness“. Hier teilt das sendende Fahrzeug selbst aufgezeichnete Daten wie Straßenzustand, Wetter, Verkehr, etc. mit anderen Verkehrsteilnehmern und Leitständen. Die hier entstehenden Daten sind ebenfalls überschaubar und daher gut geeignet für erste Versuche. Umfangreichere Funktionen wie „HD – Maps“, die ganze Kartenabschnitte benötigen, müssen eine genauere Untersuchung durchlaufen. Hier wird es zu prüfen sein, ob ein Satellitennetz eine große Anzahl an Fahrzeugen bedienen kann oder ob Abstriche im Umfang vorgenommen werden müssten. Funktionen wie „IE – Infotainment/Entertainment“ können wir wahrscheinlich ausschließen. Da hier das Datenaufkommen viel zu groß sein würde.

**Nutzenuntersuchung der möglichen KI-Anwendungen:** Da das Thema KI ein sehr großes Spektrum umfasst, lässt sich ein spezieller Nutzen nur schwer bestimmen. Allerdings sind mehrere verschiedene Szenarien denkbar. Zum einen könnte eine Intelligenz eingesetzt werden, die die perfekten Umschaltstrategie zwischen Satelliten und Cellular Netzwerk umsetzt. Dies würde sich positiv auf viele mögliche Funktionen auswirken, die eine gewisse Downloadstrategie benötigen, um ein Netzwerk nicht zu überlasten.

Ein KI-Einsatz, der mit vorhandenen Daten versucht ein vorausschauendes Bild zu zeichnen ist ebenfalls denkbar. So lassen sich möglicherweise Daten die in der Funktion „SA – Situational Awareness“ gesammelt werden, vorausschauend verarbeiten, um beispielsweise Staus oder schleppenden Vorkehr zu melden.

Ähnlich wie bei den Funktionen für Fahrzeuge sind hier sehr viele Möglichkeiten plausibel. Eine wichtige Entscheidung, die getroffen werden muss, ist der Installationsort der KI. Im Fahrzeug, der Bodenstation oder sogar im Satelliten. Jeder Standort hat Vor- und Nachteile. Im Fahrzeug herrscht eine eingeschränkte Leistung, in der Bodenstation sind Signalwege länger und im Satelliten erscheint die Implementierung schwieriger.

Eine Installation auf den Bodenstationen sehe ich nicht als nicht Sinnvoll, da dort mit den Daten so oder so die zuständigen Parteien Ihre eigenen Verfahren anwenden können, ob diese nun KI-Basiert sind oder nicht hat keinen Einfluss. Alle drei Varianten haben gemeinsam, das genau überlegt werden muss, ob der Aufwand einer KI-Implementierung den Nutzen im gleichen Maße rechtfertigt.

### 3.2.2 Arbeitspaket 2

Das zweite Arbeitspaket *Systemkonzept Vehicle2Satellite – KI Konzepte im Kommunikationsmodul und Fahrzeug* baut stark auf einem der betrachteten Punkte aus Arbeitspaket 1 auf. Dort wurden theoretische Überlegungen erörtert, die die Nutzung ein KI im Gesamtsystem betrachtet. Diese Überlegungen dienten als Basis für die Ergebnisse des zweiten Arbeitspaketes und der Integration einer künstlichen Intelligenz im Fahrzeug. Dabei wurden verschiedene Möglichkeiten der Integration betrachtet und untersucht.

Die erst Möglichkeit ist ein Hochleistungssteuergerät mit genügend Rechenleistung. Solche finden sich häufiger in modernen Fahrzeugen und in Zukunft auch in autonomen Fahrzeugen wieder. Diese Art von Steuergerät hätte genügend Leistung eine künstliche Intelligenz zu betreiben. Allerdings sind wie erwähnt, diese Steuergeräte weniger verbreitet. Somit kein guter Kandidat für deine möglichst breit anzuwendende Nutzung. Die zweite Möglichkeit, die in der internen Untersuchung betrachtet worden ist, ist das Kommunikationsmodul selbst. Dieses ist kleiner und günstiger als das Hochleistungssteuergerät und wird in mehr Fahrzeugen Einzug finden. Allerdings ist dort die Rechenleistung stark begrenzt. Die dritte Möglichkeit, wäre eine komplette Neuentwicklung eines Steuergerätes, welches sich im Fahrzeug befindet und rein für die künstliche Intelligenz zuständig ist. Dies würde allerdings

enorme Kosten verursachen, die aller Wahrscheinlichkeit nach kein Kunde später tragen wollen, würde. Mit diesen Erkenntnissen haben wir uns im Konsortium abgestimmt. Im Ende ergab die Untersuchung das für unseren Anwendungsfall die künstliche Intelligenz, die für die Steuerung der Verbindung zuständig ist, dezentral vom Fahrzeug sein sollte. Also entweder in der Cloud mit Verbindung zu den Bodenstationen oder in den jeweiligen Satelliten.

### 3.2.3 Arbeitspaket 3

Das dritte Arbeitspaket *Demonstrator Design - Anwendungen* befasst sich mit der Entwicklung einer Anwendung die idealerweise später in der Demonstration und im echten Umfeld funktioniert. Somit bestand hier die Aufgabe eine Anwendung zu definieren, welche sich Sinnvoll einsetzen lässt. Durch mehrere interne Abstimmungen einigten wir uns auf ein erweitertes Fleet-Management. Dieses hat die Aufgabe Fahrzeuge zu überwachen. Somit kann später ein Operator nachverfolgen wo auf der Welt, sich seine Fahrzeugflotte befindet. Des Weiteren lassen sich bestimmte im Fahrzeug verfügbare Daten wie Fehlermeldungen, Ladezustand und vieles mehr direkt im Portal abrufen. Diese Anwendung eignet sich sehr gut für dieses Projekt, da solche Daten für Kunden später nützlich sind. Hierbei besteht der Bedarf solche Daten Weltweit abrufen zu können. Dies ist nur möglich, wenn eine dauerhafte Verbindung besteht. Was neben der künstlichen Intelligenz in diesem Projekt ebenfalls im Fokus steht.

### 3.2.4 Arbeitspaket 4

Arbeitspaket vier *KI-Implementierung – KI im Fahrzeug* konnte sehr schnell beendet werden. Durch die in den vorangegangenen Analysen, speziell in Arbeitspaket zwei, wurde der Beschluss gefasst, eine Implementierung auf dem Kommunikationsmodul zu vernachlässigen. Dies geschah nicht leichtsinnig.

### 3.2.5 Arbeitspaket 5

Im fünften Arbeitspaket *Aufbau Demonstrator – Automotive Anwendungen anpassen* war der für uns größte Arbeitsteil. Hier wurde die in Arbeitspaket drei beschlossene Anwendung umgesetzt. Dafür wurde zunächst eine im groben vorhandene Software Cloud Applikation genommen und analysiert. Die Analyse umfasste die bisherigen Muster der Software, wie zum Beispiel die Reaktionszeit auf Anfragen oder auch der Datenverbrauch. Beides sehr wichtige Punkte, wenn man bedenkt das wir die Funktionalität der Software auch gerne über ein NTN Satelliten Netz abdecken wollen. Die Analyse lieferte als Ergebnis, das die Software zwar funktioniert, in ihrem damaligen Zustand aber nicht optimal geeignet gewesen wäre für Satellitenkommunikation. Zu viele unnötige und zusätzlich Daten. Somit bestand der erste Arbeitsschritt bei der Optimierung einen Mittelweg zu finden zwischen genügend bereitgestellten Daten und einer akzeptablen Datenmenge, die auch durch Komprimierungsverfahren reduziert werden kann. Nachdem wir die Datenmenge reduziert haben, ohne die grundlegende Funktionalität einzuschränken, wurde alles gründlich getestet. Nach der ersten erfolgreichen Testphase in einer Simulationsumgebung haben wir neue Funktionalitäten eingeführt, bis zu einem Maß, das wir für akzeptabel hielten in Bezug auf Funktionalität zu Datenverbrauch. Im aktuellen Stand kann die Applikation ein großes Spektrum eines Flottenmanagements abdecken.

- Darstellung der eingebundenen Fahrzeuge auf einer Kartenumgebung, GNSS-Position
- Trajektorie der Fahrzeuge
- Ausrichtung am Kompass
- Geschwindigkeit
- Fehlermeldung die auf dem internen Fahrzeug-Bus anliegen
- Allgemeiner Healthstatus des Fahrzeugs
- Batterie Rest Kapazität (nur bei Elektrofahrzeugen)

Durch die oben genannten Funktionen, die sich auf einer übersichtlichen Benutzeroberfläche befinden, kann ohne Probleme eine große Flotte eingebunden, orchestriert und koordiniert werden. Im letzten schritt wurde diese Applikation in unser gesamtes Cloud System eingebunden, das noch wesentlich mehr Funktionalität bietet. Allerdings auch viele Applikationen, die zum jetzigen Status nicht für eine NTN-Kommunikation optimiert sind.

### 3.2.6 Arbeitspaket 6

Im sechsten Arbeitspaket *Aufbau Demonstrator – Gesamt-Integration inkl. KI* hat es sich für uns ähnlich verhalten wie bereits in Arbeitspaket 4. Durch den von uns nicht abgedeckten Bereich KI, konnte auch keine Integration stattfinden. Wir nutzen allerdings die Zeit um mit unseren Partnern beratend die Integration voranzutreiben.

Zusätzlich testeten wir unsere entwickelte und angepasste Applikation in einer kleinen Testwaagenflotte innerhalb unseres Betriebsgeländes. Da wir leider keinen Zugriff auf eine NTN-Verbindung hatten, drosselten wir die vorhandene TN-Verbindung um ein Maß, das einer NTN-Verbindung nahekommt.

### 3.2.7 Arbeitspaket 7 und 8

In Paket sieben *Entwurf Kommunikationsmodul – Assessment 5G NTN-Komponenten* und Paket acht *Entwurf Kommunikationsmodul – Aktualisierung KM-Konzept* waren durchgehend laufende Arbeitspakete. Zwar wurde der Fokus gegen Ende des Projektes intensiviert, allerdings ist die Aktualisierung und Konzeptionierung eine dauerhaft laufende Aufgabe. In Arbeitspaket sieben beschäftigten wir uns mit den verschiedenen Lieferanten für Chips und hielten Meetings und Workshops ab um unseren Bedarf zu erläutern und somit möglicherweise die Produktion und Entwicklung bei den Lieferanten anzukurbeln. Arbeitspaket acht beschäftigte sich mit der Konzeptionierung der neusten Generation von einem automotive geprüfem Kommunikationsmoduls. Da unsere Abteilung dort das Hauptaugenmerk hat handelt es sich hier ebenfalls um eine langfristige Aufgabe. Durch die in Arbeitspaket sieben erhaltenen Informationen konnte so auch ein grobes Konzept für ein Kommunikationsmodul entwickelt werden das neben den bis heute zum Standard zählenden Technologien auch NTN Funktionalität bietet.

### 3.2.8 Arbeitspaket 9 und 10

In Arbeitspaket neun *Demonstrator – Funktionale Validierung* und Paket zehn *Demonstrator – Leistungsbewertung Echtzeit Demonstrator* arbeiteten wir hauptsächlich beratend. Da der Funktionsdemonstrator für KI, Handshake und NTN-Kommunikation nicht bei uns aufgebaut worden ist, sondern in den jeweiligen Institutionen. Dafür dienten die zwei Wöchigen Absprachen und direkten Telefonate dazwischen. Zusätzlich zu den in Arbeitspaket zehn durchgeführten Beratungen wurde unsere Applikation intern bewertet. Dafür wurden zuständige und interessierte Fachabteilungen inkludiert. Zusammenfassen wurden die Pros und Kontras erfasst. Auf der Pro Seite für die Abwandlung der Applikation stehen die Flexibilität, die mehrere Kommunikationswege mit sich bringen und die Reduktion auf die wesentlichen Funktionen. Auf der Kontra Seite der zusätzliche Aufwand den eine solche gezielte Programmierung mit sich bringt und die Gefahr das ein Kunde mehr Funktionalität möchte, die möglicherweise schwer mit NTN umzusetzen ist. Allerdings überwiegt der Nutzen speziell in der Flexibilität, die wiederum die Erreichbarkeit und Verfügbarkeit erhöht.

### 3.2.9 Arbeitspaket 11 und 12

Auch Arbeitspaket elf *Management und Verwertung – Projektmanagement ZF und Workshops* und Arbeitspaket zwölf *Management und Verwertung – Verwertungsplan Kommunikationsmodul* kann hier gut in einem Kapitel zusammengefasst werden. Bei beiden Arbeitspaketen handelt es sich um organisatorische Aufgaben. Arbeitspaket elf umfasst alles, was mit der Organisation der Meetings, der Workshops und der Aufgaben zu tun hat. Ebenso die Orchestrierung der verschiedenen mitwirkenden Abteilungen. Die selbe Beschreibung lässt sich auch auf Arbeitspaket zwölf anwenden, allerdings wird auf die Verwertung in Kapitel fünf noch detaillierter eingegangen.

## 4. Zusammenfassung

### 4.1 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Notwendigkeit des gesamten Vorhabens ergab sich durch den positiven Abschluss des vorangegangenen Förderprojektes 5G Autosat. Dort untersuchten wir die allgemeine Machbarkeit und den Nutzen einer flächendeckenden Satellitenkommunikation für Datenaustausch, die eine Erweiterung für den Mobilfunk darstellen soll. Dort erkannten wir die Möglichkeiten und den Nutzen dieser Technologie. Somit führten wir in diesem Projekt die Arbeit fort und vertieften sie in bestimmten Bereichen, die wir im ersten Projekt identifizieren konnten. Wir erweiterten das Projekt um den Aspekt der künstlichen Intelligenz. Dies soll uns im Hinblick auf einen nahtlosen und idealen Übergang zwischen verschiedenen terrestrischen Technologien unterstützen. Auch in diesem Projekt haben wir viele Erkenntnisse gewonnen und einen weiteren Meilenstein für diese Technologie legen können.

### 4.2 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Im Bereich des Nutzens des Projekts können mehrere Erfolge verzeichnet werden. In erster Linie die Gespräche im 3GPP-Gremium. Durch eine Etablierung in einem Standard bekommt dieses Thema eine neue Gewichtung. Wie auch in unserem Fall. Durch den offiziellen Rahmen steigt auch die Chance einer Verwertbarkeit. Die erste Etablierung erfolgte bereits im ersten Förderprojekt, durch die anhaltenden Arbeit wurden diese aber immer genauer definiert und erhielten auch Einzug in folgendes Releases. Die erweiterten Fähigkeiten der Demonstratoren haben auch für zukünftige Entwicklungen einen großen Nutzen. Die Theoretischen Überlegungen finden Verwertung im Design der Hardware, in zukünftigen Projekten und der Einbringung im diversen Gremien und Fachkreisen. Die Größte Verwertbarkeit liegt in der aktuellen Planung einer weiteren Fortsetzung dieses Projektes. Dort Planen wir den Umfang noch zu erhöhen und eine sinnvolle Erweiterung um einen weiteren Partner, der die nötigen Kenntnisse um Antennen- und Empfangstechnologien beisteuert.

### 4.3 Mitbewerber Fortschritt

Durch die gesamte Projektlaufzeit versuchten wir alle Mitbewerber, Firmen und andere Förderprojekte zu beachten.

Im Jahr 2025 verzeichnet die Satellitenkommunikation bedeutende Fortschritte, insbesondere im Bereich der mobilen und automobilen Datenübertragung. Durch den rasanten Ausbau von Low Earth Orbit (LEO)-Satellitenkonstellationen wie OneWeb, Starlink und Amazon Kuiper wird eine nahezu globale Abdeckung mit hoher Bandbreite und niedriger Latenz ermöglicht. Diese technologischen Entwicklungen schaffen die Grundlage für eine neue Generation vernetzter Fahrzeuge, die unabhängig von terrestrischer Infrastruktur kommunizieren können.

Ein zentraler Meilenstein war der erfolgreiche Test einer 5G-NTN-Verbindung über die OneWeb-Satelliten im Februar 2025. In Zusammenarbeit mit MediaTek, Airbus und weiteren Partnern wurde erstmals eine standardkonforme 5G-Datenverbindung zwischen einem Endgerät und dem Kernnetz über Satellit hergestellt. Dieser Test bestätigte die technische Machbarkeit der direkten Kommunikation zwischen Fahrzeugen und Satelliten unter Verwendung des 3GPP Release 17 Standards. Die Verbindung war bidirektional und ermöglichte den Austausch von Echtzeitdaten – ein entscheidender Schritt für Anwendungen wie Over-the-Air-Updates, Fahrzeugdiagnose, Notfallkommunikation und V2X-Dienste.

Parallel dazu treiben Organisationen wie die ESA, Fraunhofer IIS und BMW Projekte zur satellitengestützten Vehicle-to-Everything-Kommunikation voran. Ziel ist es, Fahrzeuge auch in ländlichen oder grenzüberschreitenden Regionen zuverlässig mit digitalen Diensten zu versorgen. Die Integration von Satellitenkommunikation in bestehende Fahrzeugarchitekturen stellt zwar noch technische Herausforderungen dar, etwa hinsichtlich Antennengröße, Energieverbrauch und Frequenzkoordination, doch die Fortschritte in der Miniaturisierung und Standardisierung lassen auf deutliche Erfolge hoffen.

Der Markt für satellitengestützte Datenübertragung wächst dynamisch. Prognosen gehen von einem Volumen von über 14 Milliarden US-Dollar bis 2033 aus, mit jährlichen Wachstumsraten von über sieben Prozent. Besonders stark wächst der Bereich des Satelliten-Internets, der durch die zunehmende Nachfrage nach globaler Konnektivität und die Verbreitung vernetzter Geräte getrieben wird.

Insgesamt entwickelt sich die Satellitenkonnektivität von einer ergänzenden Technologie zu einem strategischen Bestandteil moderner Mobilitätslösungen. Sie ermöglicht eine unterbrechungsfreie Kommunikation über Landesgrenzen hinweg und bildet eine wichtige Grundlage für die Zukunft des autonomen Fahrens und der intelligenten Verkehrssysteme.

#### 4.4 Beitrag des Ergebnisses zu den förderpolitischen Zielen

Das Verbundvorhaben wurde im Rahmen des Programmes zur "INNOspace – Anwendungen und Innovationen", gefördert. Zu den folgenden förderpolitischen Zielen der Ausschreibung hat das Fördervorhaben einen Beitrag geleistet:

*Eine Grundvoraussetzung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Deutschland ist die Erforschung und Entwicklung innovativer Technologien, Verfahren und Dienstleistungen. Die Raumfahrt als Spitzen- und Schlüsseltechnologie leistet hierzu einen bedeutenden Beitrag, auch für terrestrische Anwendungen und andere Wirtschaftszweige. Das DLR Raumfahrtmanagement des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e.V. (im Folgenden DLR RFM) ist im Rahmen der Durchführung der Raumfahrtstrategie der Bundesrepublik Deutschland verantwortlich für das Management des „Nationalen Programms für Weltraum und Innovation“.*

Im Vorhaben wurden innovative Technologien zur Satellitenkonnektivität für (auto)mobile Anwendungen untersucht und weiterentwickelt. In Anbetracht der wachsenden internationalen Aktivitäten auf diesem Gebiet insbesondere in China und den USA stellt dies einen wichtigen Beitrag der Raumfahrt zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie dar, indem eine kontinuierliche und permanente Vernetzung von Fahrzeugen gewährleistet wird. Insbesondere für automatisiertes und autonomes Fahren führt dies zu einer deutlichen Effizienz- und Leistungssteigerung.

*Daraus abgeleitete Zielsetzung ist die Förderung von Innovationen sowie von Technologie- und Knowhow-Transfers zwischen der Raumfahrt und anderen Branchen. Dies geschieht durch die Förderung der Überführung von Ergebnissen der Raumfahrtforschung und -entwicklung in andere Bereiche („Spin-Off“) bzw. die Erschließung der Entwicklungen anderer Bereiche für die Raumfahrt („Spin-In“).*

Bei dem geförderten Vorhaben handelt es sich um ein Innovationsvorhaben, bei dem Fortschritte auf dem Gebiet der Satellitenkommunikation für neue Anwendungen für den Automobil- und Transportsektor nutzbar gemacht werden ("Spin-Off").

*Die Vorhaben sollen sich durch innovative Ansätze auszeichnen sowie eine wissenschaftliche und wirtschaftliche Verwertungs- und Transferperspektive aufweisen. Durch individuelle Fördervorhaben, aber auch durch die Zusammenarbeit von Wirtschaft und Wissenschaft in gemeinsamen Verbundvorhaben, sollen dazu die Voraussetzungen geschaffen werden.*

Das Vorhaben berücksichtigt die neuesten Entwicklungen auf dem Gebiet der globalen Telekommunikation im Rahmen der Entwicklung des 5G Standards, speziell 5G nicht-terrestrische Netzwerke nach dem 3GPP Standard. Die in diesem Folgevorhaben forcierten Ansätze für eine KI-Unterstützung der NTN-Verbindung stellt einen wichtigen und innovativen Weg dar. Der sowohl für die Wissenschaft als auch für die Wirtschaft einen deutlichen Mehrwert bieten kann. Der Erfolg dieses und der vorangegangenen Projekte beruht auch auf der hervorragenden Zusammenarbeit von Airbus, Fraunhofer, der Universität Erlangen und ZF. Durch diese Zusammensetzungen konnten wir einen guten Querschnitt aus Wissenschaft und Wirtschaft bilden.

*Gegenstand der Förderung- Zu fördernde Vorhaben im Sinne der Bekanntmachung sind Innovations- und Transfervorhaben im folgenden Sinne: 1) Innovationsvorhaben: Vorhaben mit hohem Neuheitswert/Innovationsgrad, die Transferpotenziale für andere Branchen haben (Basis-*

*und Pionierinnovationen). Gefördert werden Vorhaben aufgrund ihres erwarteten künftigen Transferpotenzials.*

5G-AUTOSAT KI stellt ein Innovationsvorhaben dar, bei dem neue Konzepte zur Vernetzung von Fahrzeugen untersucht und eine konkrete Umsetzung im Fahrzeug-Kommunikationsmodul beschrieben wurde. Erweitert um die den Fokus der Untersuchung einer künstlichen Intelligenz und dessen Einsatzort und Nutzen. Dieses Konzept hat auch ein hohes, direktes Transferpotential für andere Mobilitätsanwendungen etwa für Unmanned Aerial Vehicles und Urban Air Mobility (Lufttaxis), allgemeine Fahrzeugfunktion für private und geschäftliche Anwendungen, aber auch im maritimen Bereich. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit für eine Übertragung in eine Vielzahl weiterer vertikaler Märkte und Anwendungsfälle.

*Innovations- und Transfervorhaben können Technologien, Verfahren oder Dienstleistungen betreffen, beispielsweise auf den Gebieten der Sensorik, Werkstoffe, Robotik, Elektronik, Softwareentwicklungen, IT-Applikationen, Anwendungen bzw. Services der Erdbeobachtung, Kommunikation oder Navigation. In Hinblick auf anwendungsbezogene Produkt-, Verfahrens- und Dienstentwicklungen ist ein breites Spektrum an Nutzungen in der Raumfahrt sowie im terrestrischen Bereich erwünscht. Insbesondere sollen die Entwicklung neuer Anwendungsfelder und die Erschließung neuer Nutzerkreise gefördert werden.*

Das Innovationsvorhaben 5G-AUTOSAT KI erforscht eine noch nicht genutzte Technologie für die Vernetzung von Fahrzeugen, die auf Weiterentwicklungen auf den Gebieten der Elektronik und Softwareentwicklung basieren. Dies erschließt neue (IT-gestützte) Anwendungsfälle und Dienste im Automobilbereich basierend auf Services der (Satelliten-)Kommunikation durch NTN und TN-Verbindungen und deren Übergang untereinander. Darüber hinaus ist ein hohes Transferpotential erkennbar, das auch die Entwicklung neuer Anwendungsfelder im Luft- und Schifffahrtbereich und die Erschließung neuer Nutzerkreise in einer Vielzahl vertikaler Märkte ermöglicht - insbesondere, wenn die Integration von 5G nicht-terrestrischen Netzen (5G NTN) in das globale Telekommunikationsökosystem weiter voranschreitet.

## 5. Verwertungsplan

### 5.1 Schutzrechte

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt bestehen bei den Partnern keine relevanten Schutzrechte. Im Zuge des Projektes wurde regelmäßig überprüft, ob eine Verwertung der Ergebnisse in Form von Patenten oder sonstigen Schutzrechten möglich ist. Im Rahmen des Projektes hat sich die Möglichkeit der Anmeldung von Schutzrechten nicht ergeben.

### 5.2 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Im ursprünglichen Verwertungsplan des Angebotes war geplant, die Arbeiten auf internationalen Konferenzen in den Jahren 2023 bis 2025 einer kritischen Fachöffentlichkeit zu präsentieren. Dabei sollen sowohl Veranstaltungen mit Fokus auf dem Transportsektor, dem Kommunikationssektor (spezielle Mobilfunk und 5G) und dem Raumfahrtsektor – speziell Satellitenkonnektivität – liegen. Folgende Konferenzen kommen dabei in Frage:

- World ITS und European ITS Symposium (jährlich)
- EUCAD – European Conference on Connected and Automated Driving, veranstaltet von der EU
- Ka- and Broadband Conference (jährlich)
- EUCNC – European Conference on Networks and Communications (jährlich)
- ASMS – Advanced Satellite Multimedia Systems Conference (alle 2 Jahre)
- IEEE 5G World Forum
- IEEE Vehicular Networking Conference
- IEEE Vehicular Technology Conference
- Internationale Automobilausstellung IAA
- IEEE Global Communications Conference (Globecom)
- Nationale Satellitenkonferenz

Zudem sind alle zwei der Verbundprojektspartner Mitglied in 5GAA – der 5G Automotive Association – in der wichtige Vertreter aus der Automobil- und Mobilfunkindustrie vertreten sind. Es ist geplant die Projektergebnisse auch in den Arbeitsgruppen dieser Organisation bekannt zu machen.

Zusätzlich werden die Ergebnisse, wie bereits bei 5G-AUTOSAT geschehen, in den vom DLR Raumfahrtmanagement initiierten Netzwerken Space2Motion und Space2Agriculture präsentiert werden.

Des Weiteren sollen die Ergebnisse auch bei der EMEA Satellite Operator Association (ESOA) präsentiert werden.

### 5.3 Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Durch die vorangegangenen Untersuchungen der potentiellen Möglichkeiten einer Satellitenkommunikation mit Fahrzeugen durch das 5G-Autosat Projekt ist ZF mehr denn je darin interessiert diese Thematik weiter voran zu bringen. Durch Weiterentwicklung dieser Technik entstehen neue Absatz- und Marktmöglichkeiten, die die Industrie in Deutschland stärken. Auch drei Jahre nach dem Start des 5G Autosat Projektes zeigen sich erhebliche Lücken in der Netzabdeckung durch Mobilfunk. Somit muss die Möglichkeit der Datenübertragung durch Satelliten weiterverfolgt werden. ZF plant daher bei erfolgreichem Abschluss des Vorhabens 5G-AUTOSAT KI, die daraus gewonnenen Ergebnisse in die Entwicklung von zukünftigen Kommunikationsmodulen einfließen zu lassen. Mit einem serienreifen Produkt mit 5G NTN Fähigkeiten ist dann etwa ab 2028/29 zu rechnen - die Verfügbarkeit geeigneter Komponenten (wie etwa Chipsätze) vorausgesetzt. Dies ist auch kompatibel mit dem generellen Aufbau des Ökosystems für Satellitenkonnektivität und den Roadmaps der Automobilhersteller, so wie sie heute bekannt sind.

Durch Einbringen zusätzlicher Intelligenz - wie es im Vorhaben 5G-AUTOSAT KI umgesetzt werden soll - lassen sich bisher nur schwierig und kostspielig umgesetzte Szenarien verbessern. Als Beispiel ist

denkbar, Funktionen, die bisher in jedem einzelnen Fahrzeug berechnet wurden, dezentral in einem Satelliten zu berechnen und allen im Verbund befindlichen Fahrzeugen zur Verfügung zu stellen. Somit müsste nicht jedes Fahrzeug für sich gesehen die gleiche Berechnung durchführen, sondern nur eine übergeordnete Intelligenz. Dieses Vorgehen würde die Produktionskosten der Fahrzeuge senken und den Materialverbrauch erheblich reduzieren. Dadurch wird die Produktion umweltfreundlicher und Materialschonender. Darüber hinaus soll das erarbeitete Wissen über vernetzte KI-Verfahren auch in weiteren Anwendungsbereichen des Unternehmens eingesetzt werden.

Ziel ist die Steigerung der Verfügbarkeit mobiler Daten, die Reduzierung von Aufwand durch Auslagerung gewisser Rechenleistung und die Stärkung der in Deutschland beheimateten Industrie

Gegenüber dieser Einschätzung hat sich im Laufe des Projektes keine wesentliche Änderung ergeben, sondern eher eine Bestätigung des Gesagten. Die Ergebnisse bei 5G-AUTOSAT KI haben wesentlich dazu beigetragen den Dialog mit der Automobilindustrie aber auch mit Mobilfunkanbietern und Endgeräteherstellern weiter zu vertiefen. Bereits bei einer Reihe interner Projektmeetings wurde der Austausch mit verschiedenen Industriekontakten initiiert. Allerdings haben die Arbeiten im Verbundprojekt insbesondere an der Roadmap verdeutlicht, dass die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten – über die Lieferung geeigneter fahrzeugintegrierbarer Nutzerterminals und der Bereitstellung von innovativen Konstellationslösungen – erst mittelfristig, d.h. frühestens im Zeitraum 2028 - 2030, materialisieren werden. Generell werden insbesondere die wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Anschlussfähigkeiten und zusätzlich auch die wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten deutlich früher realisierbar sein.

#### 5.4 Wissenschaftliche und technische Erfolgsaussichten

Wie bereits in Abschnitt 5.2 dargestellt wird ZF gemeinsam mit den Verbundpartnern die im Vorhaben erarbeiteten Ergebnisse in wissenschaftlichen Veröffentlichungen und Fachvorträgen präsentieren. ZF wird dabei speziell seinen Zugang zu Veranstaltungen der Automobilindustrie nutzen - wie etwa bei der Internationalen Automobilausstellung oder in der 5G Automotive Association - um die Ergebnisse von 5G-AUTOSAT KI weiterzuverbreiten und damit auch weitere Anwendungsmöglichkeiten zu generieren. Durch die Untersuchung der Möglichkeiten eines Einsatzes der künstlichen Intelligenz in dem Verbund der Technik, sowohl in den Satelliten als auch in den Steuergeräten, ergeben sich vielversprechende Aussichten für wissenschaftlichen und technischen Erfolg. Aus der Aufteilung der Intelligenz in verschiedene Teilnehmer des Netzwerkes ergeben sich neue und spannende Möglichkeiten. Sowohl neue Produkte als auch neue Märkte sind hierfür denkbar. Dafür müssen neue technische Lösungen geschaffen werden und eingehende Untersuchungen stattfinden. Damit erweitert sich auch das kollektive Know-How der Firma ZF zum einen im Hinblick auf die Anwendung von Satellitenkommunikation im Mobilitätssektor und zum anderen im Hinblick auf KI-Verfahren. Dieses Wissen wird entsprechend auch an die Mitarbeiter weitergegeben, um sie für neue, anspruchsvolle Zukunftsaufgaben fit zu machen.

Die obige, in der Antragsphase getroffene Einschätzung hat sich im Laufe des Verbundprojektes 5G-AUTOSAT KI noch deutlich verstärkt. Die Einbringung der KI-Komponente in dieses Projekt war der richtige Ansatz ein ganzheitliches System zu entwickeln. Durch diese Betrachtung und tiefergehenden Untersuchungen konnten wichtige Erkenntnisse gewonnen werden die in Zukunft die Arbeit von uns und unseren Kollegen erleichtern werden. Dadurch kamen wir zu der Erkenntnis das die KI am besten genutzt werden kann um einen Handshake zwischen NTN und TN-Netzwerken zu planen und zu beschleunigen. Oder übergeordnete für alle zutreffenden Berechnungen durchzuführen. Des weiteren kamen wir zu der Erkenntnis, das eine KI Anwendung direkt in einem einfachen Kommunikationsmodul innerhalb des Fahrzeuges weniger Sinn macht als in dezentralen Stellen innerhalb der Kommunikationskette wie Satelliten oder Bodenstationen.

So sind bereits eine Fortführung und Erweiterung dieser Kooperation geplant. In der an die Grundlagen dieser Studie angeknüpft werden soll und diese erweitert werden. Unterstützung findet diese Fortführung durch einen zusätzlichen Partner – VITES. Dieser fünfte Partner würde uns um das Wissen über Antennentechnologien ergänzen und somit die technische Kette vervollständigen. Mit dieser Kombination würden wir einen realitätsnahen Demonstrator forcieren.

## 5.5 Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Wie bereits in Kapitel 5.4 beschrieben, werden wir versuchen eine Fortsetzung dieses Projektes zu realisieren.

Die erfolgreiche Abwicklung des Projektes ist ein großartiges Modell für die Kooperation zwischen Automobil- und Raumfahrtsektor unterstützt durch die nationalen Institute und Hochschulen. Die Chancen und Möglichkeiten, die Satellitenkonnektivität bietet, können den wichtigsten Bedarfsträgern im Transportsektor und Automobilsektor demonstriert werden. Durch beide Förderprojekte 5G Autosat und 5G Autosat KI konnten wir genügen Daten und Ideen aufzeigen, die die Anschlussfähigkeit rechtfertigen.

Wir sehen das Interesse auf nationaler Ebene durch die einheimischen Automobilhersteller sowie auf internationaler Ebene durch diverse Automobilhersteller und Satellitenbetreiber. Firmen wie Geely und Tesla/SpaceX veröffentlichen verstärkt Artikel und Absichtserklärungen um die Erweiterung der Satellitenkonnektivität für Automobile. Allerdings sehen wir nicht zu vernachlässigende Schwachstellen in dessen Konzepten. Sei es das Vorarbeiten an Standards oder der zusätzlichen Voraussetzung einer TN-Technologie, die die NTN-Technologie unterstützen muss. Beide genannten Punkte schließen wir aus. Wir arbeiten mit den Gremien zusammen und wollen auch eine allein funktionierende NTN-Lösung etablieren.

## 6. Anhang

### 6.1 Document Control Sheet

<b>1. ISBN or ISSN</b> geplant	<b>2. type of document (e.g. report, publication)</b> Schlussbericht	
<b>3. title</b> Schlussbericht ZF Friedrichshafen AG 5G-Autosat KI Optimierung der Konnektivität für automobile Anwendungen in hybriden Satelliten / terrestrischen 5G Netzwerken mittels künstlicher Intelligenz		
<b>4. author(s) (family name, first name(s))</b> Ruf, Simon	<b>5. end of project</b> 31.03.2025	
	<b>6. publication date</b> 01.10.2025	
	<b>7. form of publication</b> Document Control Sheet	
<b>8. performing organization(s) name, address</b> ZF Friedrichshafen AG	<b>9. originators report no.</b>	
	<b>10. reference no.</b> 50RP2170B	
	<b>11. no. of pages</b> 45	
<b>12. sponsoring agency (name, address)</b> BMWK Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz Scharnhorststraße 34–37 10115 Berlin Postanschrift: 11019 Berlin Telefon: +49 30 18615-0 Telefax: +49 30 18615-7010	<b>13. no. of references</b> 17	
	<b>14. no. of tables</b> 3	
	<b>15. no. of figures</b> 23	
	<b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>	
<b>17. presented at (title, place, date)</b> n/a		
<b>18. abstract</b> Das geplante Forschungsvorhaben zielt darauf ab, die Anwendungsreife satellitengestützter Fahrzeugkonnektivität weiter zu erhöhen. Aufbauend auf den Ergebnissen des Projekts 5G-AUTOSAT soll die Vehicle-to-Satellite (V2S) Kommunikation als integraler Bestandteil von V2X- und V2N-Systemen etabliert werden. Durch die Einführung des Mobilfunkstandards 5G ab Release 17 und die Integration nicht-terrestrischer Netze (NTN) entsteht die Möglichkeit, Satellitenkommunikation nahtlos in das terrestrische Mobilfunk-Ökosystem einzubinden – insbesondere für mobile Anwendungen im Automobilssektor. Im Fokus steht die Entwicklung einer regenerativen Architektur mit einer im Satelliten integrierten Basisstation (gNB), die durch KI-gestütztes Edge Computing eine optimierte Datenverarbeitung ermöglicht. Ergänzend wird ein 5G-TN/NTN-fähiges Kommunikationsmodul für Fahrzeuge konzipiert, das sowohl terrestrische als auch satellitengestützte Konnektivität unterstützt und den aktuellen 3GPP-Standards entspricht. Zur Validierung wird ein Echtzeit-Demonstrator im Labormaßstab entwickelt, mit dem die Leistungsfähigkeit der KI-gestützten 5G-Kommunikation getestet wird. Die Ergebnisse fließen in die Standardisierung (3GPP) ein und dienen als Grundlage für eine Roadmap zur Implementierung von Satellitenkonnektivität in Fahrzeugen. System-Level-Simulationen hybrider 5G-Szenarien ermöglichen zudem eine detaillierte Analyse der Optimierungspotenziale durch KI, einschließlich verteilter Lernverfahren. Das Vorhaben stärkt die nationale Innovationskraft im Bereich der Satellitenkommunikation für den Mobilitätssektor und fördert die Zusammenarbeit zwischen Automobil- und Raumfahrtindustrie. Es adressiert den wachsenden Bedarf an globaler Fahrzeugkonnektivität und positioniert die deutsche Industrie wettbewerbsfähig gegenüber internationalen Akteuren.		
<b>19. keywords</b> Satellitenkommunikation, Satellitenkonnektivität, Connected Cars, Connected and Automated Mobility, 5G NTN, Kommunikationsmodul, KI, künstliche Intelligenz		
<b>20. publisher</b> n/a	<b>21. price</b> n/a	

## Berichtsblatt

<b>1. ISBN oder ISSN</b> geplant	<b>2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)</b> Schlussbericht
<b>3. Titel</b> Schlussbericht ZF Friedrichshafen AG 5G-Autosat KI Optimierung der Konnektivität für automobile Anwendungen in hybriden Satelliten / terrestrischen 5G Netzwerken mittels künstlicher Intelligenz	
<b>4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]</b> Ruf, Simon	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 31.03.2025
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> 01.10.2025
	<b>7. Form der Publikation</b> Document Control Sheet
<b>8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)</b> ZF Friedrichshafen AG	<b>9. Ber.-Nr. Durchführende Institution</b>
	<b>10. Förderkennzeichen</b> 50RP2170B
	<b>11. Seitenzahl</b> 45
<b>12. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> BMW	<b>13. Literaturangaben</b> 17
	<b>14. Tabellen</b> 3
	<b>15. Abbildungen</b> 23
<b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>	
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b>	
<b>18. Kurzfassung</b> <p>Das geplante Forschungsvorhaben zielt darauf ab, die Anwendungsreife satellitengestützter Fahrzeugkonnektivität weiter zu erhöhen. Aufbauend auf den Ergebnissen des Projekts 5G-AUTOSAT soll die Vehicle-to-Satellite (V2S) Kommunikation als integraler Bestandteil von V2X- und V2N-Systemen etabliert werden. Durch die Einführung des Mobilfunkstandards 5G ab Release 17 und die Integration nicht-terrestrischer Netze (NTN) entsteht die Möglichkeit, Satellitenkommunikation nahtlos in das terrestrische Mobilfunk-Ökosystem einzubinden – insbesondere für mobile Anwendungen im Automobilssektor.</p> <p>Im Fokus steht die Entwicklung einer regenerativen Architektur mit einer im Satelliten integrierten Basisstation (gNB), die durch KI-gestütztes Edge Computing eine optimierte Datenverarbeitung ermöglicht. Ergänzend wird ein 5G-TN/NTN-fähiges Kommunikationsmodul für Fahrzeuge konzipiert, das sowohl terrestrische als auch satellitengestützte Konnektivität unterstützt und den aktuellen 3GPP-Standards entspricht.</p> <p>Zur Validierung wird ein Echtzeit-Demonstrator im Labormaßstab entwickelt, mit dem die Leistungsfähigkeit der KI-gestützten 5G-Kommunikation getestet wird. Die Ergebnisse fließen in die Standardisierung (3GPP) ein und dienen als Grundlage für eine Roadmap zur Implementierung von Satellitenkonnektivität in Fahrzeugen. System-Level-Simulationen hybrider 5G-Szenarien ermöglichen zudem eine detaillierte Analyse der Optimierungspotenziale durch KI, einschließlich verteilter Lernverfahren.</p> <p>Das Vorhaben stärkt die nationale Innovationskraft im Bereich der Satellitenkommunikation für den Mobilitätssektor und fördert die Zusammenarbeit zwischen Automobil- und Raumfahrtindustrie. Es adressiert den wachsenden Bedarf an globaler Fahrzeugkonnektivität und positioniert die deutsche Industrie wettbewerbsfähig gegenüber internationalen Akteuren.</p>	
<b>19. Schlagwörter</b> Satellitenkommunikation, Satellitenkonnektivität, Connected Cars, Connected and Automated Mobility, 5G NTN, Kommunikationsmodul, KI, künstliche Intelligenz	
<b>20. Verlag</b>	<b>21. Preis</b>

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2800924-3