



Partnerspezifischer Endbericht

Nr. 4

Vorhabenbezeichnung:	KI-gestützte Sensorik für autonomes Fahren unter Schlechtwetterbedingungen
Version	1.0
Zuwendungsempfänger	Robert Bosch GmbH
Förderkennzeichen	16ME0349
Laufzeit des Vorhabens:	01.06.2021 bis 31.12.2024
Berichtszeitraum:	01.01.2024 bis 31.12.2024
Fälligkeitsdatum:	15.02.2025
Erstellungsdatum	18.10.2024



Dokumenteninformation

Autoren

Dr.-Ing. Martin Kunert – Robert Bosch GmbH/Deutschland

Förderung

Ko-labeliertes PENTA und EURIPIDES² Projekt befürwortet von EUREKA

Gefördert von:

Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF)

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)

Business Finland

National Research Council of Canada Industrial Research Assistance Program (NRC IRAP)

Kontakt

Name: Setareh Jaber Ansari

Partner: Bosch

Email: setareh.jaberansari@de.bosch.com

Geheimhaltungsstatus

Vertraulich (keine Weitergabe an unberechtigte Dritte)



Versionsübersicht

VERSION	DATUM	GRUND	AUTOR	PARTNER
0.1	18.10.2024	Initialversion	M. Kunert	Bosch
0.2	28.11.2024	Revision und Freigabe	S. Jaber Ansari	Bosch
1.0	27.02.2024	Finale Version	S. Jaber Ansari	Bosch



Inhaltsverzeichnis

1 Wichtigste Ergebnisse und Ereignisse	8
1.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse	12
1.1.1 AP1 Project Management	12
1.1.2 AP2 Anforderungen und Architektur	12
1.1.3 AP3 Hardware Entwicklung	12
22	
AP4: Fusion & AI	23
1.1.4 AP5: Simulation	24
1.1.5 AP6: Demonstration, Nutzung und Bewertung	25
1.2 Andere wesentliche Ereignisse	26
2 Stand des Vorhabens	27
3 Erfolgsaussichten	28
4 Ergebnisse von dritter Seite	29
5 Änderungen in der Zielsetzung	30
6 Fortschreibung des Verwertungsplans	31
Abkürzungen	32
Referenzen	33
Anhang 1: Auswahl an Projekttreffen	34
Anhang 2: Ausgewählte Veröffentlichungen und Vorträge	35



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kosten und Leistungsgetriebener Radarmarkt [Ref 1].....	8
Abbildung 2: Fahrzeughersteller mit SAE Level 3 im Markt bzw. in den kommenden Jahren [Ref 1]	9
Abbildung 3: Sensor Set Konfiguration für die verschiedenen ODDs (Operational Design Domains) [Ref 1]	10
Abbildung 4: Erweiterung der Radar Wertschöpfungskette um zusätzliche Quereinsteiger oder Start-Ups [Ref 1].....	10
Abbildung 5: Übergang von dezentralen zu einer zentralen Fahrzeugrechnerarchitektur [Ref 1].....	11
Abbildung 6: neue Antennakzept mit Waveguide Technologie.....	12
Abbildung 7: erste Leistungsbewertung des Bosch Radarprototyp 2.....	13
Abbildung 8: AI-SEE Prototyp 2 (links) und ein Referenzsensor der Generation 5 Premium (rechts)	14
Abbildung 9: Hauptunterschiede zwischen AI-SEE Prototyp 1 und 2.....	14
Abbildung 10: Lost Cargo Testszenario unter Schneebedingungen in der Lappland Messkampagne.....	15
Abbildung 11: Lost Cargo „Reifen auf Fahrbahn“ bei Tag in der Lappland Messkampagne	16
Abbildung 12: Lost Cargo „Reifen auf Fahrbahn“ bei Tag in der Lappland Messkampagne (später)	17
Abbildung 13: Lost Cargo „Liegender Fußgänger Dummy auf Fahrbahn“ bei Nacht in der Lappland Messkampagne.....	18
Abbildung 14: : Lost Cargo „Liegender Fußgänger Dummy auf Fahrbahn“ bei Nacht in der Lappland Messkampagne (später)	19
Abbildung 15: Benchmark zwischen Serienradar und Radarprototyp 1	20
Abbildung 16: Quantative Benchmark zwischen Seriensensor und Radarprototyp 1	20
Abbildung 17 Vehicle left turn scenario on a public road	21
Abbildung 18: Squared timber on a test track in 250m distance.....	21
Abbildung 19: Squared timber on a test track in 6m distance	22
Abbildung 20: Die Haupteinflussfaktoren von Schlechtwetter auf einen Radarsensor	24
Abbildung 21: Regeneffekteinflüsse auf die Übertragungseigenschaften von Mikrowellenradaren	25



Abbildung 22: Auszug aus Videoclip von ALTOS Radar [Ref 2]..... 29



Tabellenverzeichnis

Keine



1 Wichtigste Ergebnisse und Ereignisse

Der Radarmarkt im Automobilsektor hat sich in den letzten Jahren in zwei sehr gegensätzliche Richtungen entwickelt. In Abbildung 1 ist die Aufspaltung des automobilen Radarmarktes in die zwei Lager, nämlich in kostengetriebene, niederperformante Fahrerassistenzradare und hoch-performante Imaging Radare für den hochautomatisierten Fahrbetrieb.

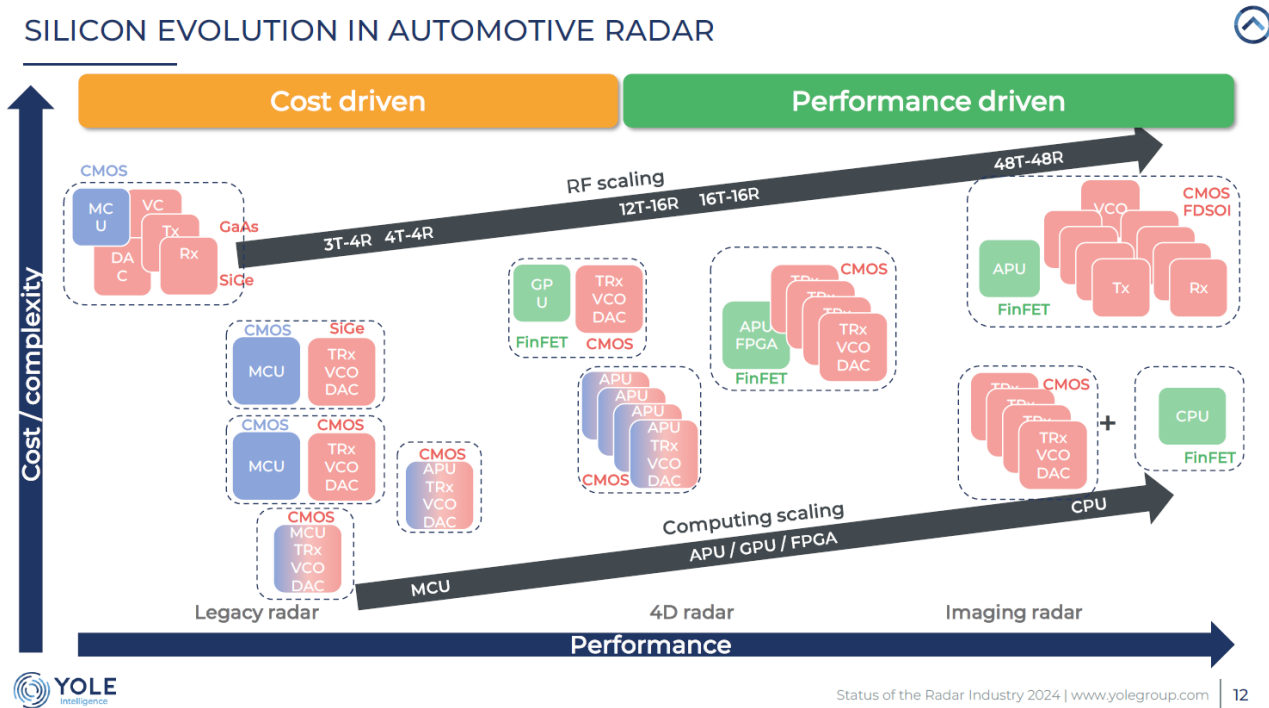


Abbildung 1: Kosten und Leistungsgetriebener Radarmarkt [Ref 1]

Das Hauptziel der Robert Bosch GmbH im AI-SEE Verbundprojekt ist es, einen hochauflösenden, bildgebenden Radar als Prototyp zu entwickeln, der insbesondere Verbesserungen bei der Objekterfassung (i.e. Steigerung der Anzahl von Detektionen pro Objekt) und der Objektrennfähigkeit (i.e. Separation von z.B. Motoradfahrer neben LKW) mit sich bringt.

Mittlerweile haben bereits drei Automobilhersteller Serienfahrzeuge mit SAE Level3 im Markt, nämlich die Mercedes Benz AG (Deutschland), die Hyundai Motor Company (Südkorea) und die Bayerischen Motor Werke BMW (Deutschland). Weitere Fahrzeughersteller werden in den kommenden Jahren folgen, wie in Abbildung 2 dargestellt. Viele dieser OEMs oder MSPs arbeiten daher bereits an weiterführenden Fahrfunktionen im SAE Level 4 Bereich, was technologisch hauptsächlich evolutionär aus den bisherigen Fahrfunktionen weiterentwickelt wird. Diese Vorgehensweise steht im Kontrast zu den beiden Cyber-



Companies Waymo und Baidu (und eventuell auch TESLA mit seinem CyberCar/RoboVan Ansatz), die disruptiv gleich auf das vollautomatisierte Fahren nach SAE Level 5 zusteuern.

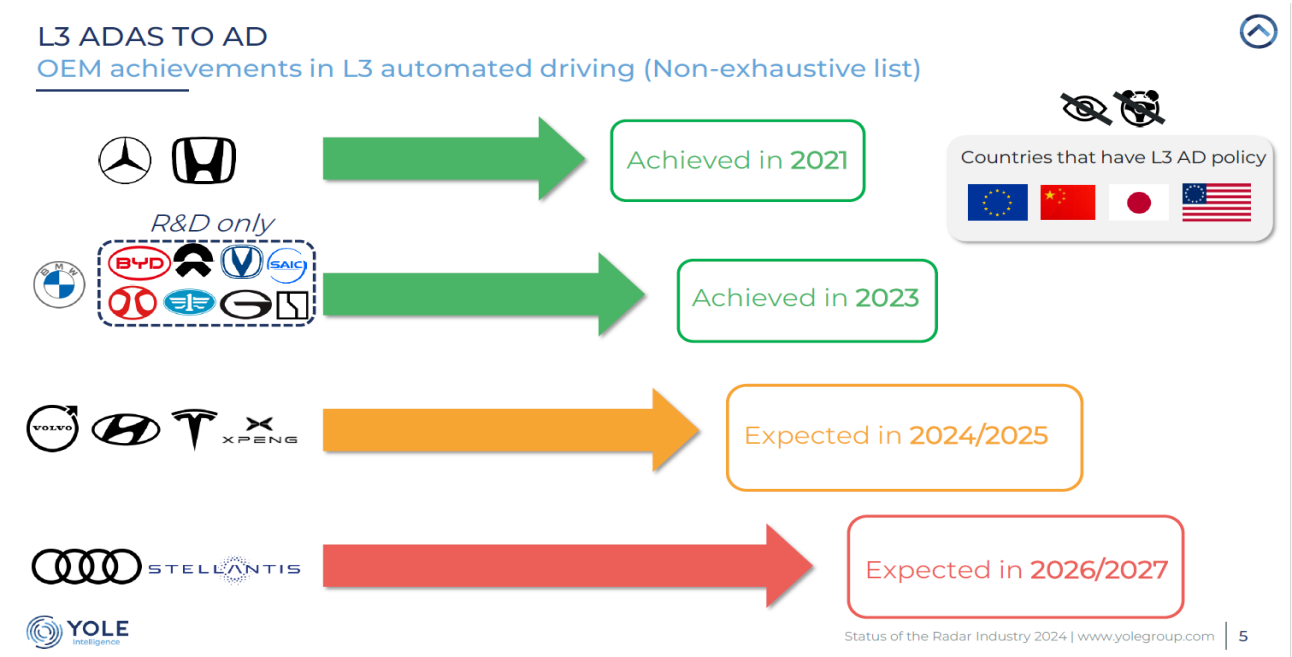


Abbildung 2: Fahrzeughersteller mit SAE Level 3 im Markt bzw. in den kommenden Jahren [Ref 1]

Die notwendigen Sensorkonfigurationen für die verschiedenen Fahrfunktionen sind in Abbildung 3 dargestellt.

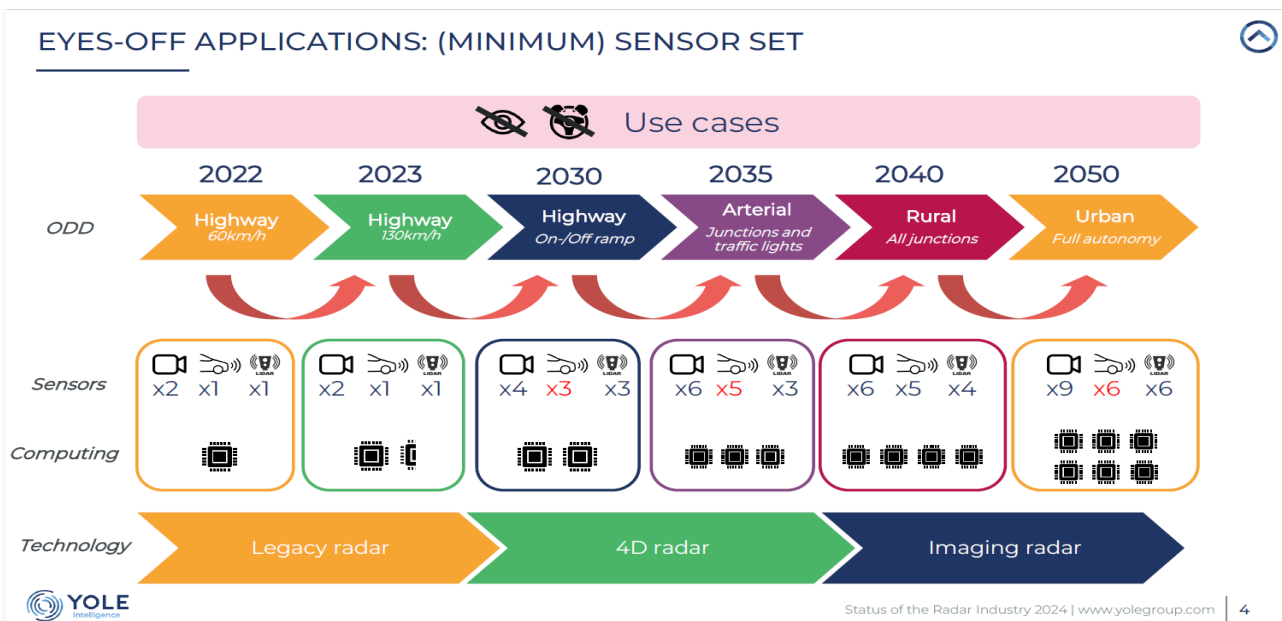




Abbildung 3: Sensor Set Konfiguration für die verschiedenen ODDs (Operational Design Domains) [Ref 1]

Es ist selbstredend, dass für höherwertende Fahrfunktionen die Anzahl der Sensoren sowie auch die Rechenleistung ansteigen wird. Ob sich die Rechenleistung von der ODD „Highway“ zur ODD „Urban“ versechsfachen wird, oder eventuell weniger oder sogar mehr an Rechenleistung benötigt wird, entscheidet sich wohl erst immer mit der tatsächlichen Implementierung der entsprechenden ODD.

In die Radar Wertschöpfungskette vom Chip bis hin zum Verbau im Fahrzeug bei den OEMs oder MSPs sind

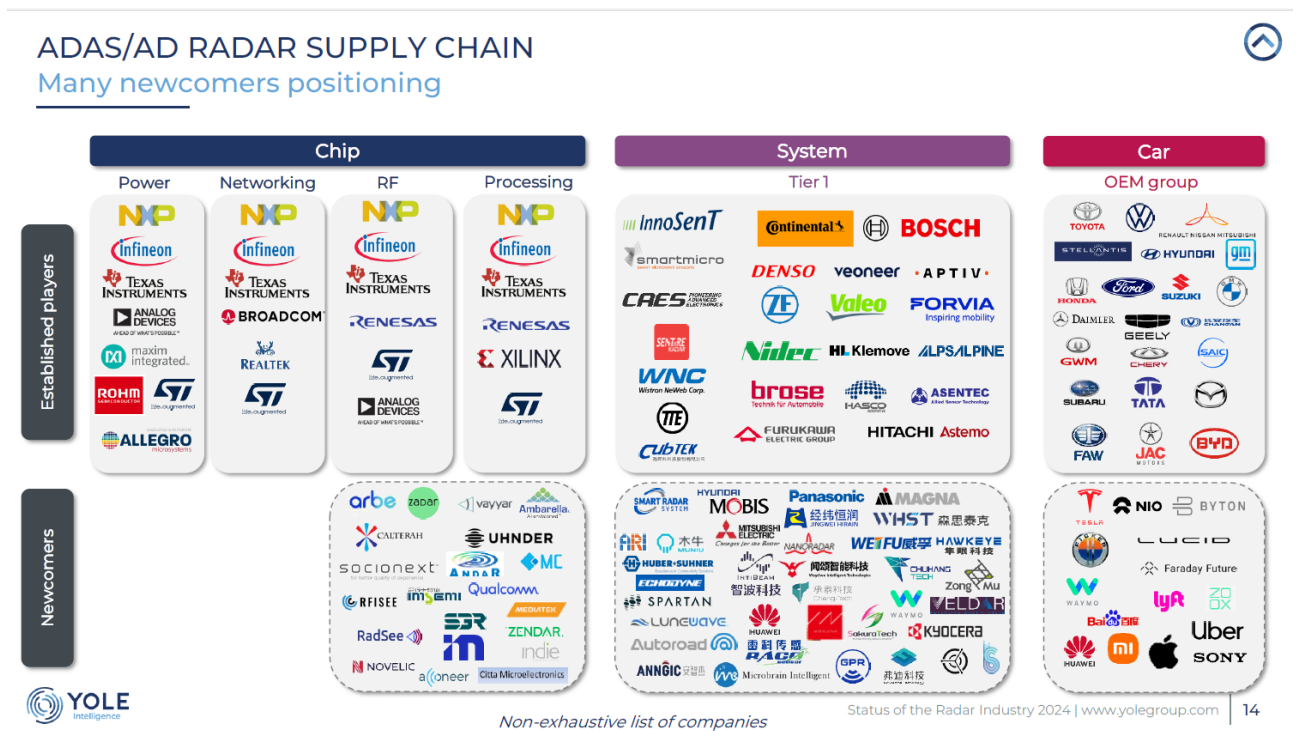


Abbildung 4: Erweiterung der Radar Wertschöpfungskette um zusätzliche Quereinsteiger oder Start-Ups [Ref 1]

stagnierenden Produktportfolios suchten oder mit neuen, meist vom Venture-Kapitalmarkt finanzierten Ideen und Innovationen die Entwicklung in Richtung vollautonomen Fahren bereichern bzw. beschleunigen wollen.



Es ist davon auszugehen, dass sich die Anzahl der aktuell in der Radar Wertschöpfungskette befindlichen Stakeholder (siehe Abbildung 4 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) in den kommenden Jahren drastisch verkleinern wird, da einerseits die F&E Ausgaben zum Erreichen einer spezifischen ODD massiv ansteigen werden und möglicherweise auf der anderen Seite die Anzahl der jährlichen Fahrzeugproduktion stagniert bzw. sogar noch kleiner wird, da durch Fahrdienste wie Uber oder Moia insbesondere im dicht-urbanen Umfeld das eigene Auto schlicht überflüssig wird.

Inwieweit sich große, dominierende Hersteller zusammenschließen und/oder hochinnovative Startups einverleiben um im globalen Wettstreit eine führende Rolle einnehmen zu können wird die Zukunft zeigen.

Ein Trend in der Fahrzeugarchitektur zeigt sich aber bereits jetzt ab. Die Anzahl der Steuergeräte in einem Mittelklassewagen (typisch ca. 50 ECUs) wird nach und nach zugunsten einer Zentralrechnerarchitektur immer weiter abnehmen. Dabei verlagern sich dann auch die Recheneinheiten von Radarsensoren peu a peu in das Zentralsteuergerät, wie in Abbildung 5 skizziert.

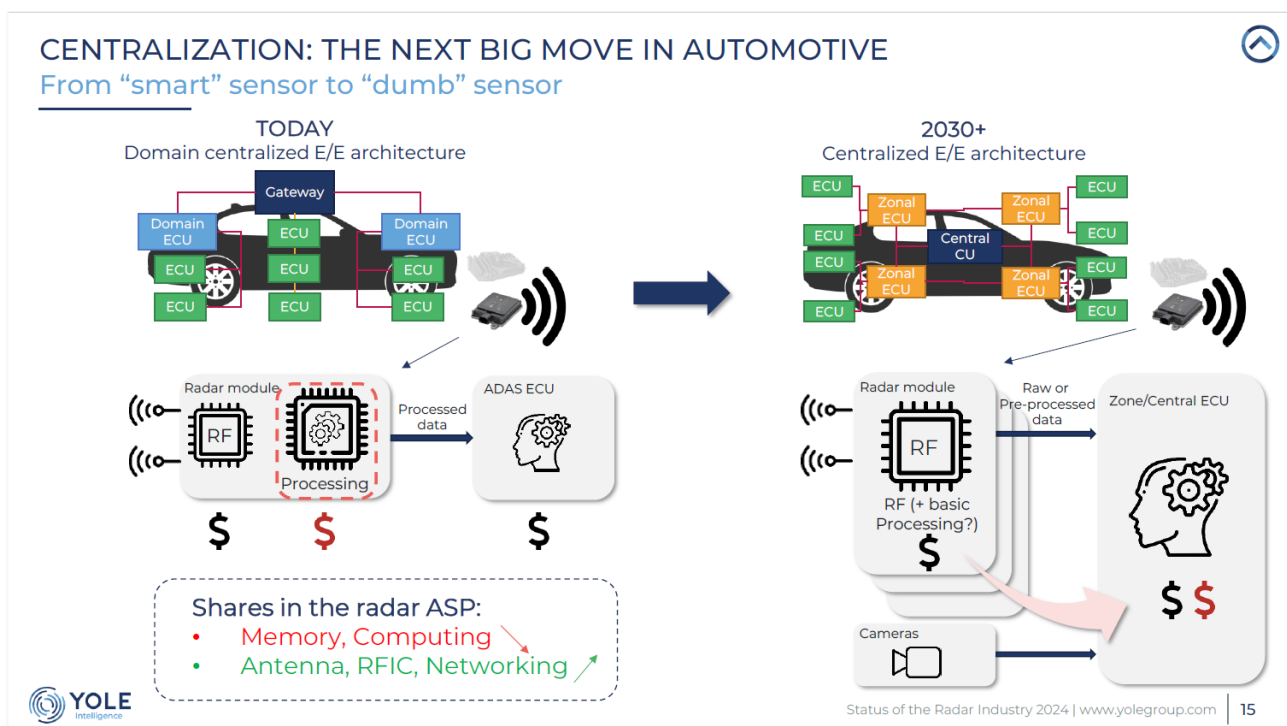


Abbildung 5: Übergang von dezentralen zu einer zentralen Fahrzeugrechnerarchitektur [Ref 1]

Dieser Wandel von dezentralen und dedizierten Sensor/Rechen-Einheiten für bestimmte Fahrfunktionen (z.B. ACC oder Toter Winkel) hin zu Zentralsteuergeräten mit dann recht einfachen und „dummen“ Sensorköpfen verlagert die Wertschöpfung dann in gleichem Maße wie die Rechenleistung schwindet von der Sensoreinheit hin zum Zentralsteuergerät.



1.1 Wissenschaftlich-technische Ergebnisse

1.1.1 AP1 Project Management

Für operationelles und administratives Management sind seitens Bosch für die gesamte Projektlaufzeit insgesamt 1 PM geplant, der hauptsächlich für die Erstellung von Zuwendungsnachweise, Kommunikation mit dem Projektträger und finanziellen oder administrative Tätigkeiten Verwendung findet.

1.1.2 AP2 Anforderungen und Architektur

1.1.2.1 AP2.1 Bedürfnisse & Anforderungen

In 2024 wurden keine weiterführende Arbeiten in AP2 getätigt. Für die gesamte Projektlaufzeit wird auf die entsprechenden Zwischenberichte verwiesen [Ref ZW].

1.1.3 AP3 Hardware Entwicklung

1.1.3.1 AP3.4 MIMO Radar

Im Laufe des Jahr 2024 wurde der Prototype 2 MIMO Radar finalisiert und für erste Testkampagnen in Betrieb genommen.

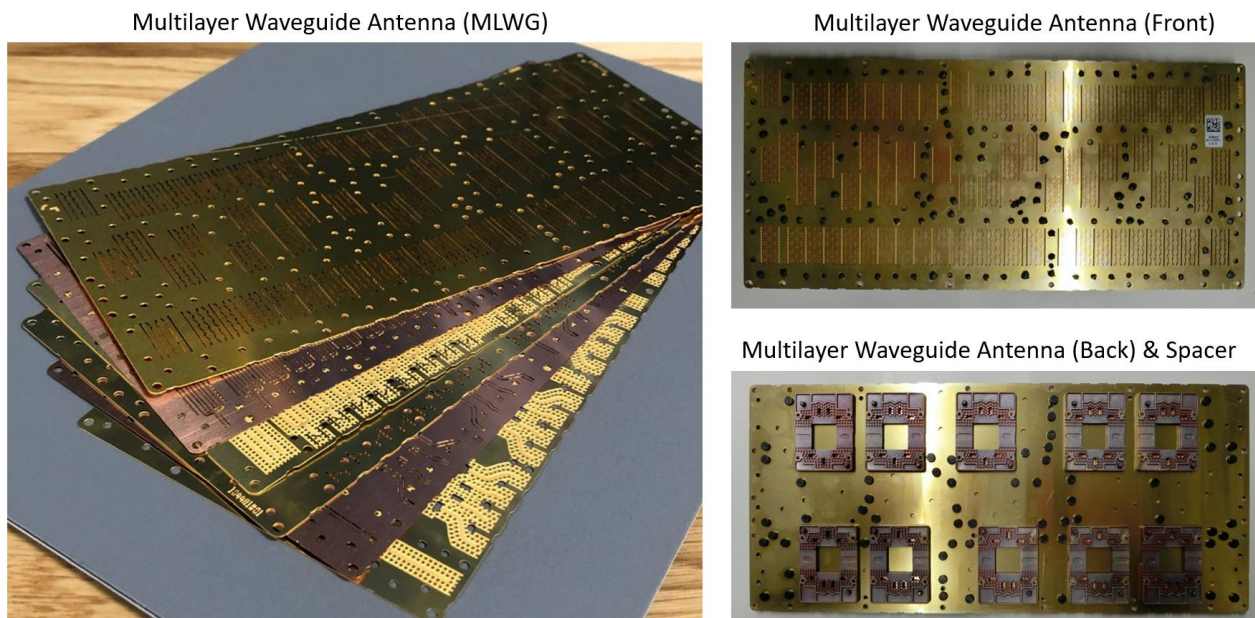


Abbildung 6: neue Antennakzept mit Waveguide Technologie



In Abbildung 6 ist das neue Antennenkonzept mit Waveguide Technologie dargestellt.

Basierend auf dem AMC (Artificial Magnetic Conductor) Prinzip wurde eine aus 6 Lagen bestehende Waveguide Antenne hergestellt, die lediglich eine Gesamtdicke von 1,9mm aufweist. Zur Ankopplung an die MMICs auf der HF-Leiterplatte wurden sogenannte Spacer eingesetzt, die die Signalleistung quasi verlustfrei in die Antenne einkoppeln können.

Abbildung 7 zeigt die HF-Platine und die Stromversorgungsplatine.

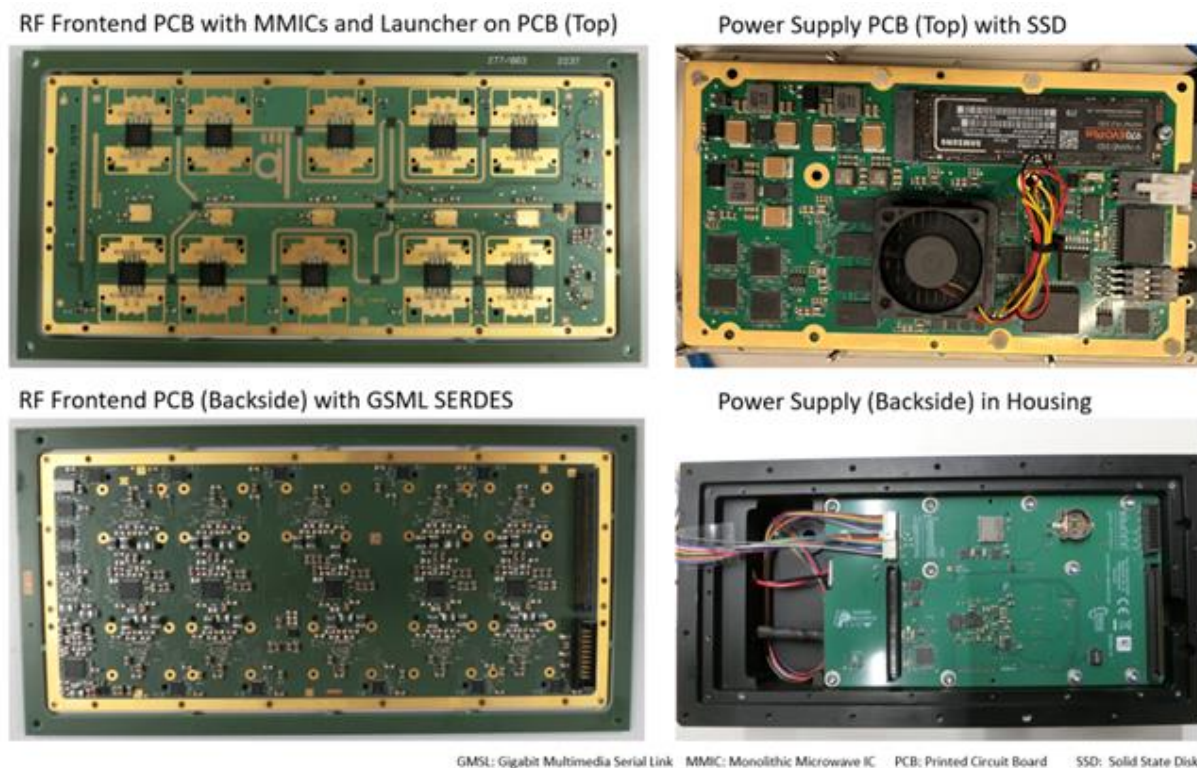


Abbildung 7: erste Leistungsbewertung des Bosch Radarprototyps 2

Auf der HF-Leiterplatte sind insgesamt 10 MMICs verbaut, wobei jedes MMIC drei TX und 4 RX Antennen bedient. Damit sind in Summe dann die 30 TX und 40 RX Antennen ansteuerbar. Jedes MMIC ist über die MIPI-CSI2 Datenschnittstelle und schnelle GMSL Serializer/Deserializer (SERDES) mit einem Zentralprozessor verbunden. Dieser Zentralprozessor ist ein FPGA Baustein der Xilinx MPSoC Serie und bewerkstelligt die gesamte Radar Signalverarbeitung bis hin zur Point Cloud Ausgabe.

Die Stromversorgungsplatine versorgt sämtliche Bauteile mit den entsprechenden Spannungen und garantiert mit den PMICs (Power Management IC) einen definierten Start und ein kontrolliertes Hochlaufen



der komplexen HF-MMICs. Eine SSD (Solid State Disk) mit einer 10 Gbps Schnittstelle kann zur Aufzeichnung von Rohdaten (digitalisierte ADC Samplesignale) eingesetzt werden, welche dann für die Nachbearbeitung am PC und zur Weiterentwicklung der Radar Signalverarbeitungsalgorithmen herangezogen werden können. In Abbildung 8 ist der Radarprototyp 2 auf dem Dachträger eines Versuchsfahrzeugs zu sehen. Zu Benchmarking Zwecken ist ein weiterer Radarsensor montiert, welche kommerziell verfügbar ist und dem aktuellen Stand der Radartechnik entspricht.

AI-SEE Prototyp 2 (uLRR) mounted on a vehicles's roof rack together with Gen5 Premium (FR5CU)



Abbildung 8: AI-SEE Prototyp 2 (links) und ein Referenzsensor der Generation 5 Premium (rechts)

Description	Prototype V1	Prototype V2
antenna	PCB patch antenna	Metallic Multi-Layer Waveguide
Tx operation	single TX on	multi-TX on
Signal Processing	classical FFT	advanced digital signal processing
Number of RX & TX	4TX/16RX	30TX/40RX

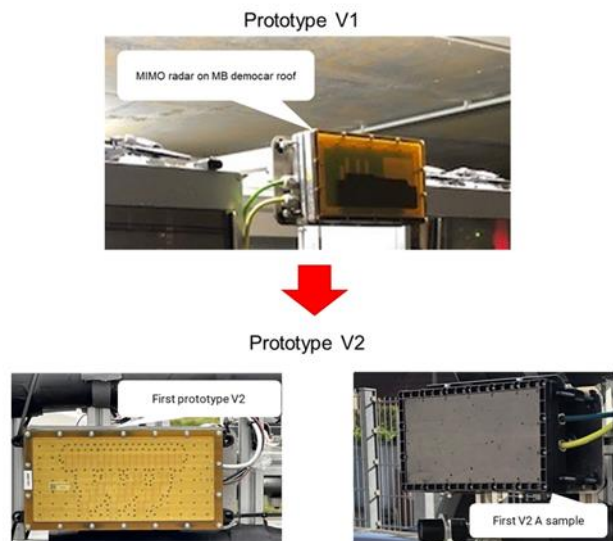


Abbildung 9: Hauptunterschiede zwischen AI-SEE Prototyp 1 und 2



Die wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Prototypenversionen 1 und 2 sind in Abbildung 9 aufgelistet.

Jede der 4 durchgeführten Maßnahmen trägt zur Verbesserung der Radarperformanz bei, wobei die Leistungssteigerung am Besten durch eine Steigerung der Detektionsfähigkeit (d.h. SNR Verbesserung) qualifiziert werden kann. Die Waveguide Antennen ergeben eine typische SNR-Steigerung von 2 bis 6 dB, abhängig von der Dimensionierung der Einzelstrahlers. Der simultane Betrieb von mehreren TX Sendeantennen führt zu einer Sendeleistungssteigerung, die sich im Idealfall 1:1 auf das SNR-Budget niederschlägt. Bei simultanen Betrieb von 30 TX Antennen ergibt sich eine SNR Steigerung von $10\log_{10}30 = 14,77$ dB. Bei der verbesserten Signalverarbeitung ist der Rahmen einer SNR-Steigerung in erster Linie nur durch die beiden Faktoren verfügbare Rechenleistung und Speichergröße limitiert. Ähnlich verhält es sich mit der Anzahl der TX und RX Antennen, wobei hier die Zusammenhänge etwas komplizierter sind und viele Antennen bei ungeschickten Betriebsmodi nicht zwangsläufig zu einer Sensorverbesserung führen.

In Abbildung 10 wird die Mikro-Doppler Trennfähigkeit des uLRR mit den beiden anderen Imaging Radaren verglichen. Der ULRR löst den auf das stehende Auto zulaufenden Fußgänger mit insgesamt 36 Punkten auf, während der 3rd Party Prototyp nur auf insgesamt 9 Punkte kommt, gefolgt vom FR5CU mit lediglich 6 Punkten. Für die Objektklassifikation ist eine hohe Punkteanzahl pro Objekt die entscheidende Größe.



Abbildung 10: Lost Cargo Testszenario unter Schneebedingungen in der Lappland Messkampagne

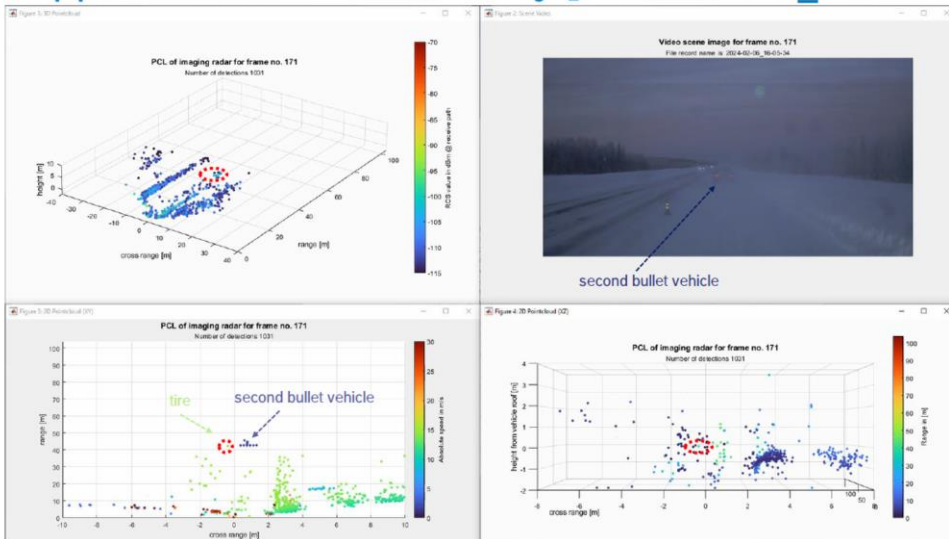


1.1.3.2 Evaluierung des AI-SEE Radarprototyps 1

Der im Mercedes Benz Versuchsträger verbaute Radarprototyp 1 wurde in zwei Messkampagnen eingehend untersucht. Der Fokus der Performanztest lag dabei auf „Lost Cargo“ Szenarien. Bei der in Lappland durchgeführten Testkampagne wurde der Schlechtwetter-Einfluß für verschiedene Lost Cargo Fälle untersucht.

In Abbildung 10 ist eine Nachtszene unter Schneefallbedingungen mit einem liegenden Fußgänger-Dummy (im Bild neben der Pylone) dargestellt. Ein Führungsfahrzeug mit einem Anhänger sorgt dabei für das notwendige Aufwirbeln von Schnee, um eine möglichst realistische Schneefallsituation zu erzeugen. Es wurden mit verschiedenen Lost Cargo Objekten (Fahrzeugreifen, Fußgänger-Dummy, Stossfänger, Auspuff, Holzpalette) Szenen bei Tag und bei Nacht eingefahren. Die Sensorsuite auf dem Dach des Versuchsträgers hat dabei simultan und mit einem synchronisierten Zeitstempel multimodal die Daten der verschiedenen Sensoren aufgezeichnet. In Abbildung 11 ist die Radarauswertung für das Lost Cargo Szenario „Fahrzeugreifen auf der Fahrbahn“ gezeigt.

Radar data evaluation Lapland – behind trailer day [2024-02-06_16-05-34]



zoom in
tire not visible in image

Detection performance:

Frame #171
tire on snowy road
(detection at 42m beside
second bullet vehicle)

ego vehicle and second
bullet vehicle running at
15m/s (54 km/h)



Abbildung 11: Lost Cargo „Reifen auf Fahrbahn“ bei Tag in der Lappland Messkampagne

In Abbildung 12 ist das Szenario von Abbildung 11 zu einem späteren Zeitpunkt (Frame #191) dargestellt. Der Radar erkennt den Reifen erstmals in ca. 42m Entfernung; bei 23m ist dann sogar eine Separation zwischen dem Reifen und der Pylone möglich. Durch den aufgewirbelten Schnee ist die Sicht von der Videokamera



stark limitiert, sodass eine Erkennung des Fahrzeugreifens auf der Fahrbahn in 42m Entfernung noch nicht möglich ist.

Radar data evaluation Lapland – behind trailer day [2024-02-06_16-05-34]

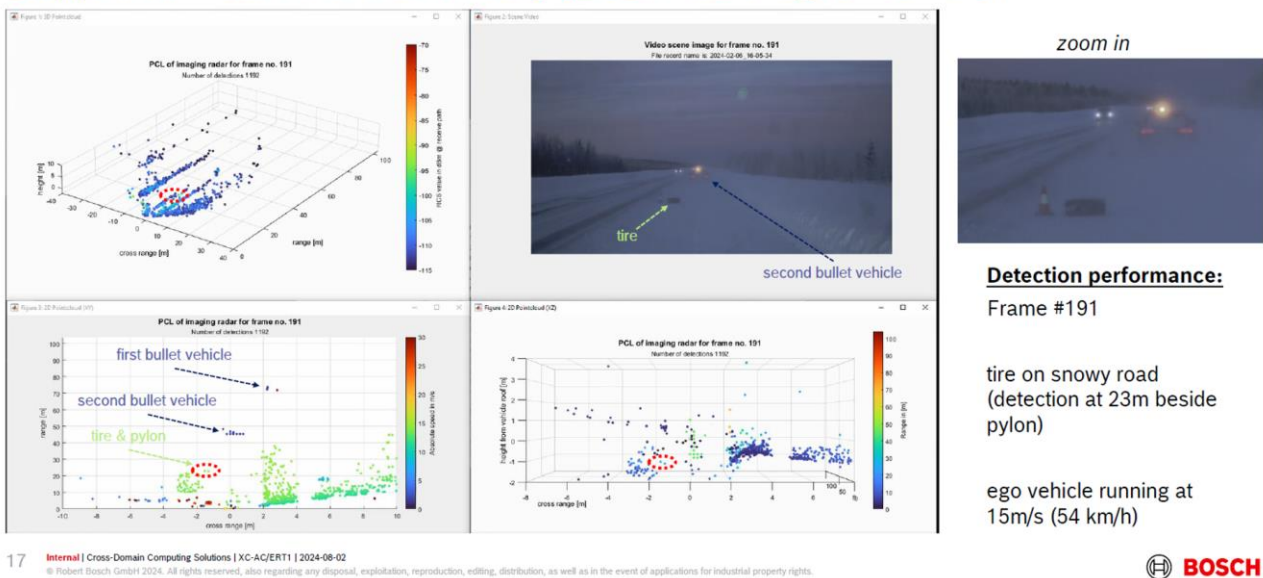


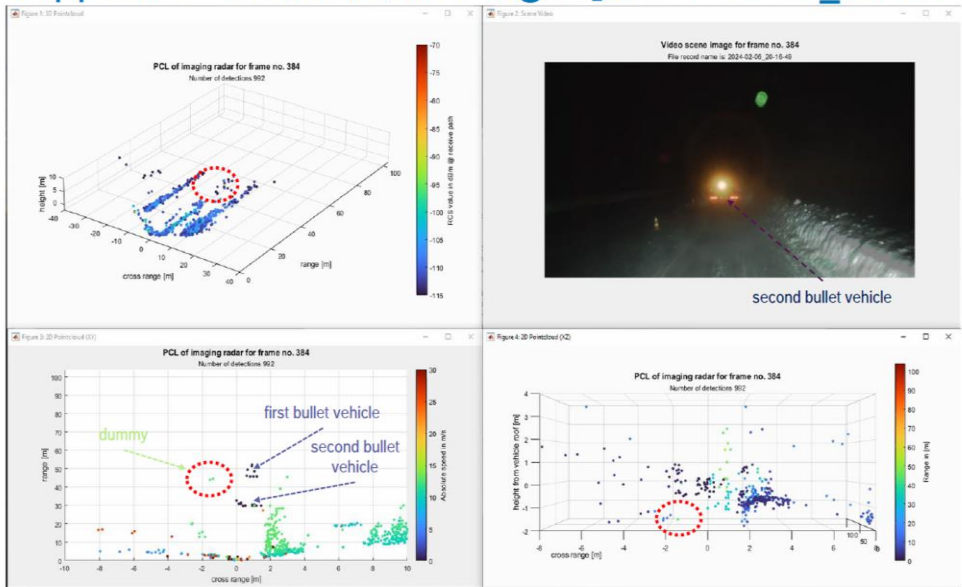
Abbildung 12: Lost Cargo „Reifen auf Fahrbahn“ bei Tag in der Lapland Messkampagne (später)

In Abbildung 13 ist ein Nachtszenario mit einem liegenden Dummy neben der Fahrspur dargestellt.

Auch hier ist der liegende Dummy im Videobild bei der Ersterkennung durch den Prototypenradar noch nicht erkennbar. In diesem Szenario ist neben dem ersten Führungsfahrzeug (i.e. first bullet vehicle), das für das Aufwirbeln von Schnee verantwortlich ist, noch ein zweites „Hasenfahrzeug“ (i.e. second bullet vehicle) im Einsatz, das die realen Verkehrssituation, nämlich eine liegende Person neben einem Auto bei Schneefall, möglichst naturgetreu wiedergeben soll. Im Messframe #384 liegt der Dummy in der Erstdetektion zwischen den beiden Führungsfahrzeugen bei ca. 45m.



Radar data evaluation Lapland – behind trailer night [2024-02-06_20-16-49]



zoom in

dummy not visible in image

Detection performance:

Frame #384

dummy beside pylon on snowy road with detection at 45 m besides first bullet vehicle at 46m

ego vehicle running at 13 m/s (46,8 km/h)



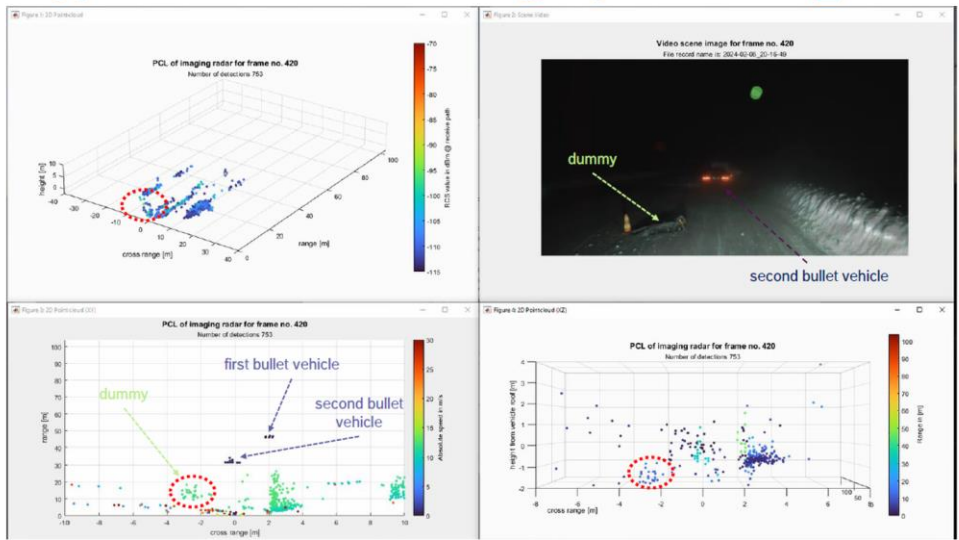
36 Internal | Cross-Domain Computing Solutions | XC-AC/ERT1 | 2024-08-02
© Robert Bosch GmbH 2024. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.

Abbildung 13: Lost Cargo „Liegender Fußgänger Dummy auf Fahrbahn“ bei Nacht in der Lapland Messkampagne

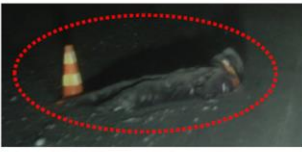
In Abbildung 14 ist der Fußgänger Dummy zu einem späteren Zeitpunkt in ca. 17m Entfernung zu sehen. In dieser Entfernung „zerfällt“ der Dummy bereits in mehrere Reflektionspunkte innerhalb der Punktwolke in der Radar Darstellung.



Radar data evaluation Lappland – behind trailer night [2024-02-06_20-16-49]



zoom in



Detection performance:

Frame #420

dummy beside pylon on snowy road with detection at ~17 m behind second bullet vehicle at 30m

ego vehicle running at 12,5 m/s (45 km/h)

37 Internal | Cross-Domain Computing Solutions | XC-AC/ERT1 | 2024-08-02
© Robert Bosch GmbH 2024. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



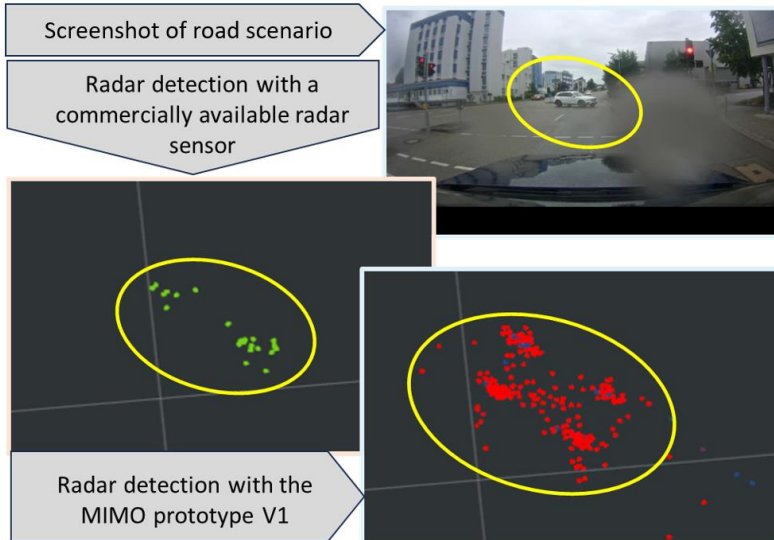
Abbildung 14: : Lost Cargo „Liegender Fußgänger Dummy auf Fahrbahn“ bei Nacht in der Lappland Messkampagne (später)

In der YZ-Ebene (i.e. height from vehicle roof vs. cross range in den Plotdarstellungen unten rechts) kommt der Dummy zwischen -1,5m bis -2m zum liegen, was bei einer Montagehöhe der Sensor-Messsuite auf dem Fahrzeugdach von ca. 2m die Verortung auf der Fahrbahn sehr gut wiedergibt.

In einem Versuchsträger der Robert Bosch GmbH wurden in 2024 rudimentäre Vergleichsmessungen zwischen einem Bosch Serienradar und dem AI-SEE Prototyp 1 durchgeführt.

In Abbildung 15 ist der Benchmark zwischen einem Serien-Imagingradar (Bosch Gen5 Premium) und dem AI-SEE Radarprototyp 1 dargestellt. Für das identische Strassenszenario (i.e. abbiegendes Auto in ca. 50m) bei zeitgleicher Radarsensoraufnahme ist die Punktdichte des abbiegenden Fahrzeugs wesentlich höher und repräsentativer für einen PKW.

In Abbildung 16 ist der Unterschied zwischen den beiden Radarsensoren für das Szenario „Entgegenkommendes Fahrzeug auf der Landstrasse“ quantitative in Form der Anzahl der „Locations“ in der Pointcloud (i.e. PCL) gezeigt. Der Prototyp 1 hat demnach in diesem Anwendungsfall eine sechsfach höhere PCL-Dichte im Vergleich zum COTS (Commercial of the Shelf) Serienradar. Für hochautomatisierte SAE Level 3 ist die Punktwolkendichte einer der wichtigsten Radar KPIs.



ADAS: Advanced Driver Assistance Systems MIMO: Multiple Input Multiple Output

Abbildung 15: Benchmark zwischen Serienradar und Radarprototyp 1



COTS: Commercial of the Shelf PCL: Point Cloud

Abbildung 16: Quantative Benchmark zwischen Seriensensor und Radarprototyp 1



1.1.3.3 Evaluierung des AI-SEE Radarprototyps 2

Die Auswertung des in 2024 fertiggestellten Radarprototyps 2 erfolgte bisher hauptsächlich rudimentär in einfachen Testszenerien auf der Versuchsstrecke oder in einfachen Strassenverkehrsszenarien. Der Schwerpunkt lag dabei auf den typischen Lost Cargo Szenarien und der Bestimmung der Trennfähigkeit von verschiedenen Objekten.

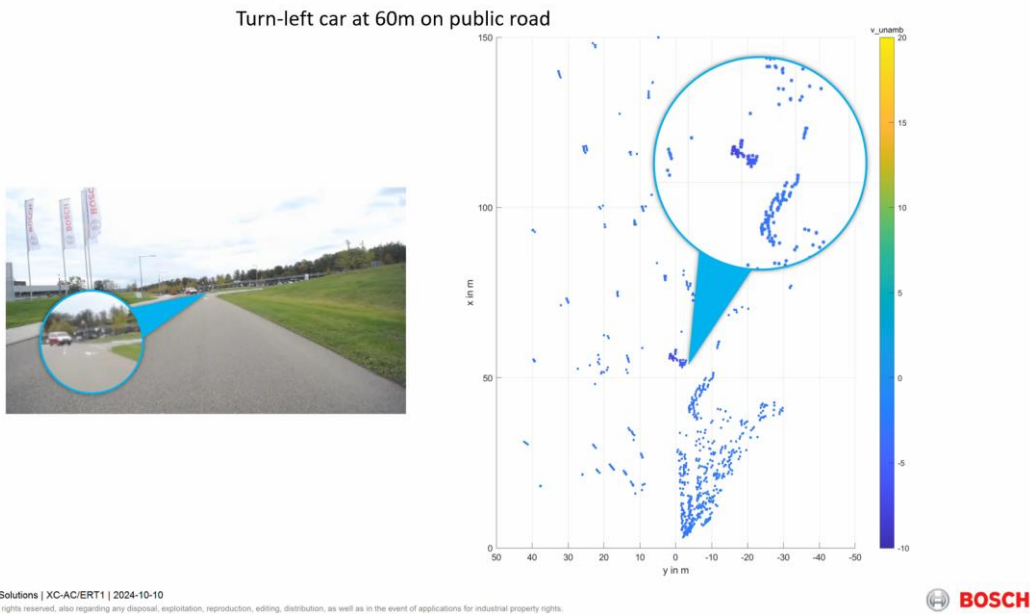
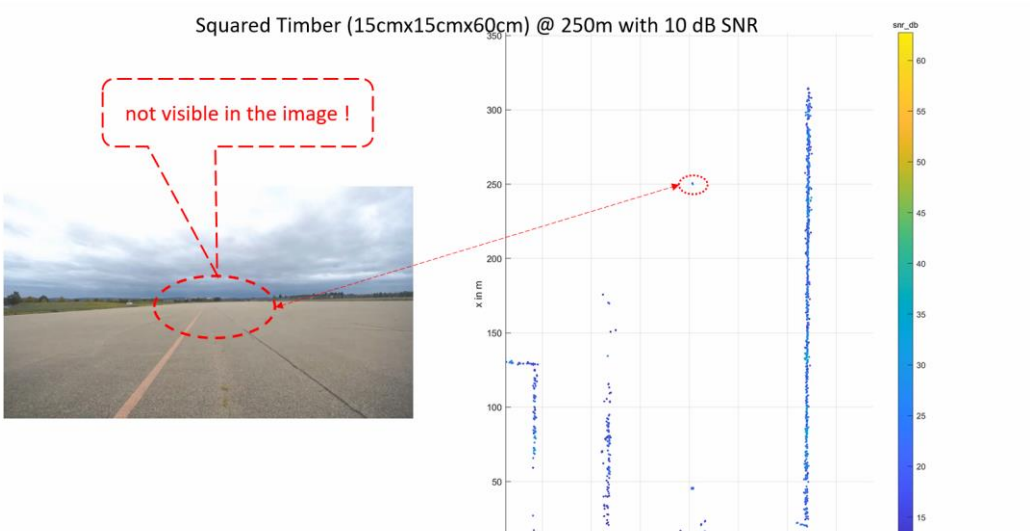


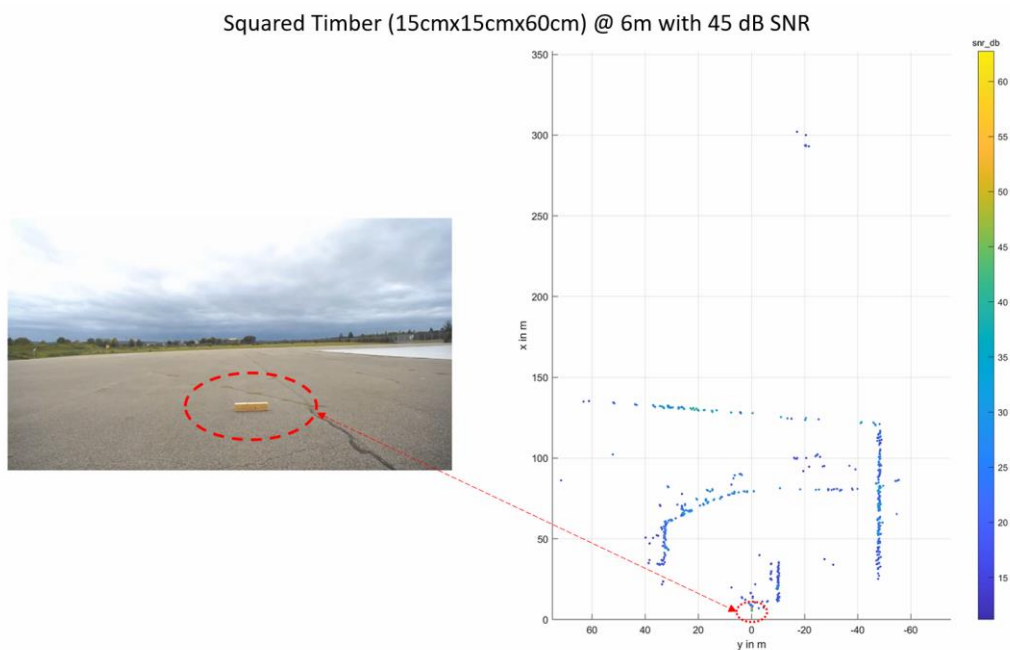
Abbildung 17 Vehicle left turn scenario on a public road





In Abbildung 17 ist das Abbiegeszenarios eines PKWs auf einer Landstrasse zu sehen. Hierbei ist die Schrägstellung und Fahrzeugkontur des abbiegenden Autos sehr gut zu erkennen.

In Abbildung 18 ist ein Kantholz auf der Teststrecke in 250m Entfernung dargestellt. Dieses ist auf dem Videobild aufgrund der Auflösung und ohne Zoomfunktion noch nicht erkennbar. Dasselbe Szenario wie in Abbildung 18 ist in Abbildung 19 nochmals nach der Annäherung an das Kantholz bis auf 6m zu sehen. Wegen der hohen Empfindlichkeit des Radarprototyps 2 ist dabei der SNR Wert für das Kantholz auf über 45 dB angestiegen.



Cross-Domain Computing Solutions | XC-AC/ERT1 | 2024-10-10

© Robert Bosch GmbH 2024. All rights reserved, also regarding any disposal, exploitation, reproduction, editing, distribution, as well as in the event of applications for industrial property rights.



Abbildung 19: Squared timber on a test track in 6m distance

Eine solch hohe Radarempfindlichkeit ist für ODD Fahraufgaben im SAE L4 bis L5 Bereich eine Mindestanforderung für die Imagingradare, um den anspruchsvollen Herausforderungen auch nur halbwegs gerecht werden zu können.



AP4: Fusion & AI

1.1.3.4 AP4.4 Hochrangige Fusionsplattform

Das Radar Datenspeicherungsprotokoll für den Prototyp 2 wurde sinngemäß entsprechend den Spezifikationen für den Prototyp 1 erweitert. Hierbei kann insbesondere die maximal Reichweite des Radars entsprechend den variabel einstellbaren Radarbetriebsparametern in einem großen Bereich von 100m bis zu 1000m beliebig variiert werden. Wegen der hohen Punktwolkendichte wurde die maximale Anzahl an Locations in der PCL auf 50.000 erhöht. Ob dieser Wert bereits ausreichend ist um sämtliche ODD Anwendungsfälle bis hin zum vollautomatisierten Fahren unter allen Bedingungen und an allen Orten der Welt bedienen zu können ist zumindest fraglich und bedarf weiterer Untersuchungen in enger Kooperation mit den Fahrzeugherstellern und Mobilitätsbetreibern.

Eine mögliche Leistungssteigerung zur Empfindlichkeitserhöhung von Automobilradaren liegt noch in der Anwendungen von Interferometrie Techniken bei den Radarbetriebsmodi und der Radarsignalauswertung verborgen. Dieses Potenzial zu heben bedarf jedoch noch einer signifikanten Forschungs- und Entwicklungsarbeit in Kombination mit der notwendigen, hoch performanten Radarhardware.



1.1.4 AP5: Simulation

1.1.4.1 AP5.1 Sammlung von Schlechtwetter-Daten

Die von der Mercedes Benz AG eingefahrenen Messdatenaufzeichnungen in Lappland und an der Princeton Universität wurden ausgewertet, dokumentiert und der Mercedes Benz AG zur weiteren Verwertung bei der Sensordatenfusion zur Verfügung gestellt.

1.1.4.2 AP 5.3 Virtuelle Datensimulation

Mit dem Projektpartner ANSYS fand ein bilateraler Austausch bezüglich der Implementierungsmöglichkeiten von Radarsimulationen im ANSYS Simulationsframework statt. Die grundlegenden Einflussfaktoren von Schlechtwettereinflüssen auf den Radar wurden definiert und spezifiziert.

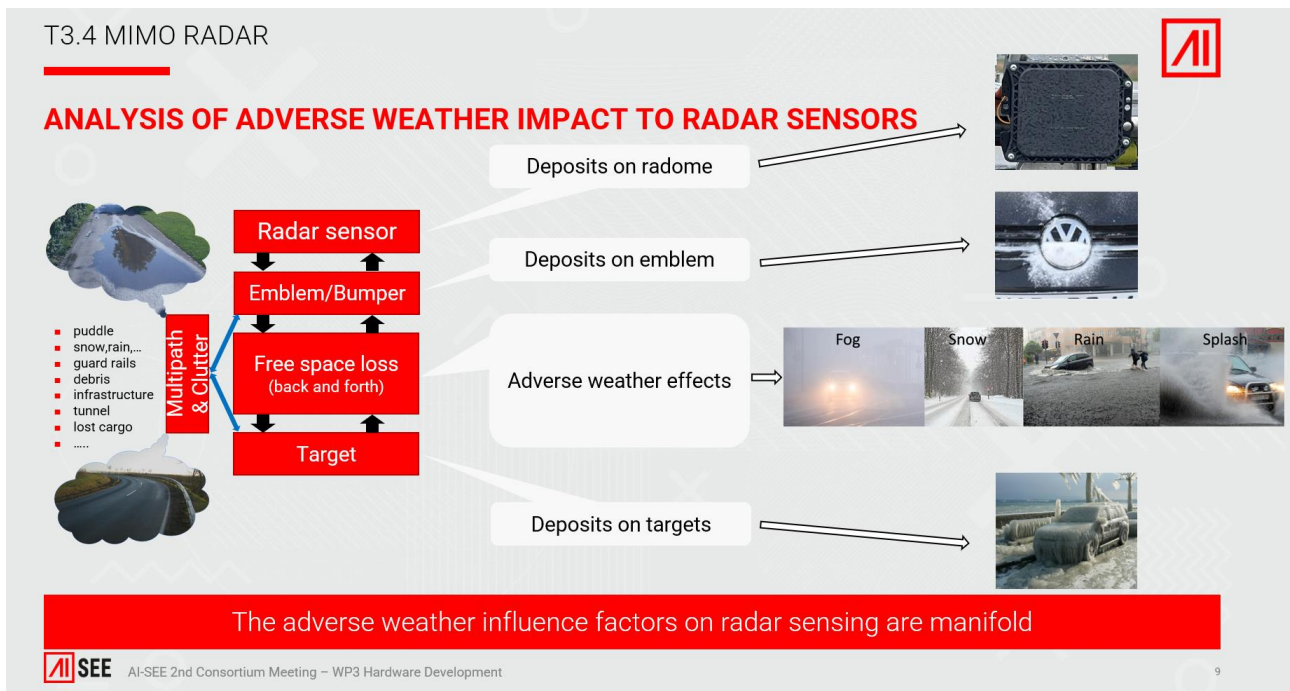


Abbildung 20: Die Haupteinflussfaktoren von Schlechtwetter auf einen Radarsensor

In Abbildung 20 wurde eine Grobaufteilung in die verschiedenen Beitragsarten durchgeführt. Für jede dieser Beitragsklassen kann ein individueller Einfluss von Schlechtwetter bestimmt werden; Durch Aufsummierung der Einzelbeiträge ergibt sich dann der gesamte Schlechtwettereinfluss auf den Radarsensor.

In Abbildung 21 ist der Einfluss von Regen auf die Übertragungsdämpfung von Radaremissionen systematisch beschrieben. Durch phänomenologische Effekte von fallenden Regentropfen ergeben sich leichte Unterschiede auf die Polarisationsrichtung von Radarwellen. Wegen des typischen Regentropfendurchmessers von ca. 4 mm ergeben sich bei einer Wellenlänge von 3,9 mm bei 77 GHz



Trägerfrequenz bei den Automobilradaren symptomatische Resonanzeffekte nach Raleigh (i.e. die sogenannte Resonanzzone).

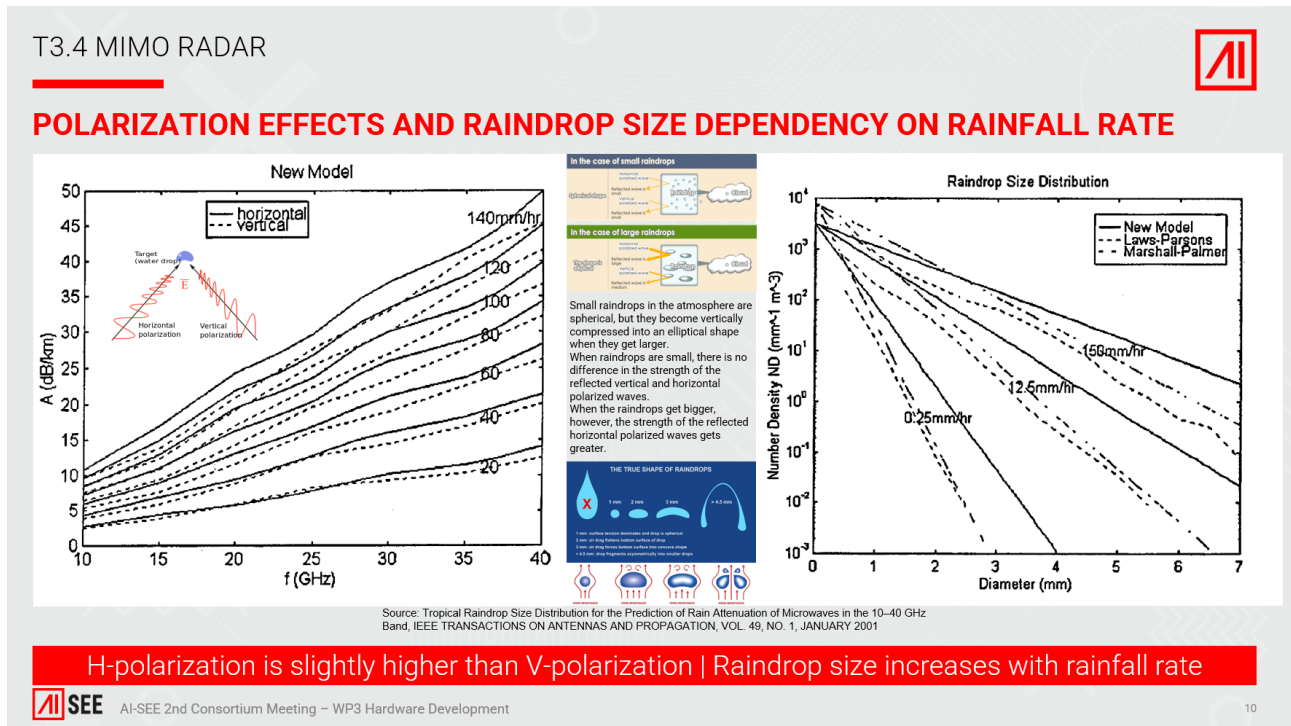


Abbildung 21: Regeneffekteinflüsse auf die Übertragungseigenschaften von Mikrowellenradaren

1.1.4.3 AP 5.4 Sensornahe Transformationsmodelle zur Erzeugung künstlicher Datensätze

Die Erzeugung von Transformationsmodellen zur Erzeugung von künstlichen Datensätzen in Bezug auf Regeneffekte gestaltet sich aufgrund der Komplexität und der Abwesenheit von verlässlichen Messdatenreihen besonders schwierig. Für Nebel und Schnee kann bei der Erzeugung von künstlichen Datensätzen aufgrund des marginalen Einflusses auf Transformationsmodelle für rudimentäre Datensätze erster Ordnung gänzlich verzichtet werden. Eine Feinanalyse gestaltet sich wegen der geringen Wechselwirkung wahrscheinlich auch entsprechend aufwendig und schwierig.

1.1.4.4 AP 5.5 Validierung

Keine Validierungsaktivitäten von Simulationsmodellen im Berichtszeitraum.

1.1.5 AP6: Demonstration, Nutzung und Bewertung

1.1.5.1 AP6.1 Verbreitung

Keine Verbreitungsaktivitäten im aktuellen Berichtszeitraum.



1.1.5.2 Ap6.3 Integration, Demonstration und Pilotierung

Eine Integration des AI-SEE Radarprototyps 2 in den Mercedes Benz Versuchsträger ist wegen des noch nicht erreichten Reifegrads beim Betrieb und der Anbindung an die Fahrzeuginfrastruktur im AI-SEE Projekt nicht mehr vorgesehen. Alternativ dazu wurde eine erste Pilotierung des Prototyps 2 in einem Bosch Versuchsträger implementiert.

1.2 Andere wesentliche Ereignisse

Im Berichtszeitraum sind keine weiteren wesentlichen Ereignisse oder Erkenntnisse bekannt geworden, die eine Änderung oder Anpassung der von Bosch geplanten Entwicklungsaktivitäten nach sich ziehen würde.



2 Stand des Vorhabens

Vergleich des Vorhabenstands mit der ursprünglichen (bzw. mit Zustimmung des ZG geänderten) Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung.

Bei der Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung sind gegenüber der ursprünglichen Planung keine signifikanten Änderungen aufgetreten. Zwischen den geplanten und geleisteten Arbeitsstunden hat sich die im Jahr 2021 durch Corona bedingte Abweichung im Laufe des Jahre 2024 wieder vollständig normalisiert. Alle Projektziele konnten erfolgreich erreicht werden und die abgerechneten Projektstunden sind vollständig im Plan.



3 Erfolgsaussichten

Haben sich die Aussichten für die Erreichung der Ziele des Vorhabens innerhalb des angegebenen Berichtszeitraums gegenüber dem ursprünglichen Antrag geändert?

Wenn ja, welche Gründe hierfür liegen vor?

Die Erfolgsaussichten für das Erreichen der Projektziele haben sich während des Berichtszeitraums nicht verändert. Die Zielsetzungen aus dem ursprünglichen Antrag gelten weiterhin und sind bis zum Projektende auch realistisch zu erreichen.

Durch die geopolitischen und wirtschaftlichen Verwerfungen (z.B. massiver Rückgang des Venture Kapitalmarkts in neue Technologien und Start-Ups) könnten die Projektergebnisse von AI-SEE sogar noch prominenter und für den Deutschen/Europäischen Wirtschaftsraum noch wichtiger werden. Dies zeugt hauptsächlich von der Nachfrage nach sicheren Lieferketten (Stichwort „local content“) von den (westlichen) Radarkunden und OEMs her.



4 Ergebnisse von dritter Seite

Sind inzwischen von dritter Seite FE-Ergebnisse bekannt geworden, die für die Durchführung des Vorhabens relevant sind?

Im Berichtszeitraum des Kalenderjahrs 2024 sind keine Erkenntnisse oder Ergebnisse von dritter Seite bekannt geworden, die für das Vorhaben relevant wären oder Änderungen in der Zielsetzung notwendig machen würden.

Einige Startups wie z.B. ALTOS Radar warten mit der Veröffentlichung von Videoclips auf YouTube mit Darstellungen auf, die im Nahbereich bereits an die Auflösung von solid state Lidaren heranreichen.



Abbildung 22: Auszug aus Videoclip von ALTOS Radar [Ref 2]

Klimawandel-bedingt werden Extremsituationen bei Schlechtwetter in der Häufigkeit und im Ausmaß schon in der näheren Zukunft noch weiter massiv zunehmen, sodass eine robuste und zuverlässige Umfeld Erfassung mit „allwettertauglichen“ Perceptionssensoren immer wichtiger wird.

Radarsysteme werden hier aufgrund ihrer Robustheit weiterhin eine tragende Rolle spielen.



5 Änderungen in der Zielsetzung

Sind oder werden Änderungen in der Zielsetzung notwendig?

Wegen des Projektende zum Dezember 2024 sind keine Änderungen in der Zielsetzung mehr geplant.



6 Fortschreibung des Verwertungsplans

Jährliche Fortschreibung des Verwertungsplans. Dieser soll, soweit im Einzelfall zutreffend, Angaben zu folgenden Punkten enthalten (Geschäftsgeheimnisse des Zuwendungsempfängers brauchen nicht offenbart zu werden): Erfindungen/Schutzanmeldungen und erteilte Schutzrechte; Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont); Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont); Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Im Berichtszeitraum wurden keine Erfindungen bzw. Schutzrechte angemeldet.

Die wirtschaftlichen, wissenschaftlichen und technischen Erfolgsaussichten nach Projektende (mit Zeithorizont) haben sich gegenüber den Inhalten in der Teilvorhabenbeschreibung der Robert Bosch GmbH (in Kapitel 4.1 und 4.2)[Ref 3] nicht geändert und gelten weiterhin. Dies gilt ebenso für die wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit (dto. in Kapitel 4.3).

Wegen der sich im Jahre 2024 weiterhin eintrübenden Wirtschaftslage im Verbund mit den aktuellen geopolitischen Verwerfungen wird sich die Umsetzung von hoch-innovativen Produktideen auf der Technologie Roadmap in der Zeitachse wahrscheinlich etwas in die weitere Zukunft verschieben.



Abkürzungen

ABKÜRZUNG	BEDEUTUNG	BESCHREIBUNG
AP	Arbeitspaket	
ECU	Electronic Control Unit	Steuergerät
Gbps	Gigabit per second	Datenübertragungsrate
GMSL	Gigabit Media Serial Link	Übertragungseinheit
MIMO	Multiple Input Multiple Output	Mehrkanaliger Radarbetrieb
MMIC	Monolithic Microwave Integrated Circuit	Hochfrequenz-Bauelement
MSP	Mobility Service Provider	Möbilitätsdienstleister
ODD	Operational Design Domain	Fahraufgabenklassifizierung
OEM	Original Equipment Manufacturer	Automobilhersteller
PCL	Point Cloud	
RADAR	Radio Detection and Ranging	-
RX	Receiver	
SAE	Society of Automotive Engineering	
SERDES	Serializer/Deserializer	Parallel-zu-Seriell Wandler und vice versa
SNR	Signal to Noise Ratio	
TX	Transmitter	
uLRR	Ultra Long Range Radar	



Referenzen

[Ref 1] Mapping Out the Latest Trends in Automotive Radar Market, Hassan Saleh, Yole, France at Automotive Forum 2024 in Berlin, 23.09.2024

[Ref 2] <https://www.youtube.com/@AltosRadar>

[Ref 3] Teilvorhabenbeschreibung der Robert Bosch GmbH vom 18.01.2021 elektronische Eingabe über easy-Online Tool am 18.01.2021 (Kennung: 100509351)

[Ref ZW] Zwischenberichte der Robert Bosch GmbH von 2021, 2022, und 2023; übermittelt an den Projektträger am 28. April 2022, 12. April 2023, und 22. Juli 2024



Anhang 1: Auswahl an Projekttreffen

Vom 17. bis 18. April 2024 fand in Graz/Österreich beim Projektpartner AVL das jährliche Konsortialtreffen mit allen Projektpartnern statt.

Turnusmäßig fand jeden Monat ein Steuerkreis Online-Meeting statt mit Bosch als AP3 Arbeitspaketleiter.



Anhang 2: Ausgewählte Veröffentlichungen und Vorträge

Keine Veröffentlichungen im Berichtszeitraum.

Von
XC-AC/ERT1Bearbeiter
Martin KunertTelefon
+49 711 811-37468Leonberg
20.11.2024Ausgabe V1.0
Thema Kurzbericht zum Sachbericht AI-SEE**Kurzbericht**

Das Förderprojekt AI-SEE (FKZ: 16ME0349) im ko-gelabelten Penta/Euripides² lief vom 1. Juni 2021 bis zum 31. Dezember 2024. Die Projektkosten der Robert Bosch GmbH summierten sich auf 1.063.292 € und ergab bei 50% Förderquote ein Fördererlöb von 531.646 €. Die geplanten 74 Personenmonate waren wie folgt über die 6 Arbeitspakete aufgeteilt:

AP1-Projektmanagement	1 PM
AP2-Anforderung und Architektur	5 PM
AP3-Hardware Entwicklung	42 PM
AP4-Fusion & AI	6 PM
AP5-Simulation	16 PM
AP6-Demonstration, Nutzung und Bewertung	4 PM

Die Robert Bosch GmbH hatte die Leitung des AP3 und die redaktionelle Verantwortung bei 5 von 23 Ergebnisberichten bzw. Meilensteinreports. In AP1 wurden seitens Bosch die administrativen Tätigkeiten durchgeführt.

In AP2 erarbeitete die Robert Bosch GmbH zusammen mit den anderen beteiligten Projektpartnern die notwendigen Applikationsanforderungen für das hochautomatisierte Fahren unter Schlechtwetterbedingungen. Die in AP2 erarbeiteten Systemkonzepte und Spezifikationen bildeten die Grundlage und den Startpunkt für die in den folgenden APs zu realisierenden Perzeptionssensoren und Fahrzeug-Demonstratoren.

Der Schwerpunkt in AP3 lag für die Robert Bosch GmbH in der Entwicklung eines hochauflösenden Radarprototypen, der in Verbindung mit den anderen Sensoren in der AI-SEE Perzeptionssuite unter Schlechtwetterbedingungen getestet werden sollte. Hierzu wurde im ersten Projektjahr ein erster Radarprototyp aufgebaut und in einem Versuchsträger der Mercedes Benz AG in Betrieb genommen.

Während der in den Jahren 2022 und 2023 mit dem Mercedes Versuchsträger durchgeführten Messkampagnen wurden simultan mit den anderen Video- und LiDAR Sensoren auch die Radarmessdaten in einem gemeinsam definierten Format aufgezeichnet. Die Radar-Messdaten von der Messkampagne in



Von
XC-AC/ERT1

Bearbeiter
Martin Kunert

Telefon
+49 711 811-37468

Leonberg
20.11.2024

Lapland/Finnland und Princeton/USA wurden dann von Bosch ausgewertet, dokumentiert und der Mercedes Benz AG zur Fusion mit den anderen Sensordaten zur Verfügung gestellt.

Von Ende 2022 bis zum AI-SEE Projektende entwickelte Bosch noch einen zweiten Radarprototypen mit signifikant gesteigerter Performanz, um auch den anspruchsvollen Anforderungen von „Lost Cargo“ Szenarien für SAE Level 3 und 4 gerecht zu werden. Ein Verbau in dem Mercedes Benz Versuchsträger war wegen des Reifegrads und aus Zeitgründen nicht mehr möglich; erste Versuchsauswertungen mit einem Bosch Versuchsträger zeigten sehr ansprechende Ergebnisse, wie z.B. die Detektion einer Holzpalette in über 200 Meter.

In AP4 war der Bosch-Beitrag hauptsächlich auf das Einbinden und die Inbetriebnahme der Radarsystemumgebung im AI-SEE Fusionsframework konzentriert. Schnittstellen und Datenübergabeprotokolle wurden entsprechend den AP2 Vorgaben physikalisch implementiert.

Im AP5 wurde zusammen mit dem Projektpartner ANSYS mit dem Austausch der vorhandenen Radar Betriebsparameter und der entsprechenden Modulationskonfigurationen die Radar Simulationsumgebung wesentlich näher an die Realität herangebracht.

AP6 war dem Demonstrator, den Veröffentlichungsarbeiten und der Datenauswertung gewidmet. Durch die örtliche Nähe zum Mercedes Benz Werk in Sindelfingen wurde die Inbetriebnahme in mehreren Ortsterminen sehr erleichtert.

Die Ergebnisse aus AI-SEE fließen vollständig in die Weiterentwicklung der Radargenerationen bei Bosch ein, um langfristig ein 24h/265d Betrieb der Radarsysteme im Auto ermöglichen zu können.

Ein besonderer Dank gilt dem BMBF und PENTA für die Förderung der Arbeiten in AI-SEE, dem Projektträger VDI/VDE für die hervorragende Projektadministration und allen Projektpartnern für die stets offene und kollegiale Zusammenarbeit bei meist doch recht anspruchsvollen und komplexen Aufgaben und Herausforderungen.

Leonberg, den 28.11.2024

XC-AC/ERT1