



ECSEL-Verbundprojekt NextPerception

Next generation smart perception sensors and distributed intelligence for proactive human monitoring in health, wellbeing, and automotive systems

Zuwendungsempfänger s.m.s, smart microwave sensors GmbH

Förderkennzeichen 16MEE0068

Projektlaufzeit 01.05.2020 – 31.07.2023

Berichtszeitraum 01.05.2020 – 31.07.2023

Koordinator (Teilvorhaben) Stephan Schlupkothen

Bearbeiter Stephan Schlupkothen, Florian Keseling

Ausführende Stelle s.m.s, smart microwave sensors GmbH
In den Waashainen 1
38108 Braunschweig

Gesamt-Projektleitung Johan Plomp
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
Kivimiehentie 3, Espoo, Finland
Telefon: +358-40-718 7684
eMail: johan.plomp@vtt.fi

Schlussbericht - Teil I: Kurzbericht

Inhalt

1.	Ursprüngliche Aufgabenstellung und Stand der Wissenschaft und Technik	3
2.	Ablauf	3
3.	Ergebnisse	3

Schlussbericht - Teil I: Kurzbericht

1. Ursprüngliche Aufgabenstellung und Stand der Wissenschaft und Technik

Mit dem Projekt „NextPerception“ zielt SMS auf eine deutliche Performanceverbesserung durch KI-Ansätze in den Radarsensoren der nächsten Generation für die Verkehrsüberwachung/-steuerung. Hierbei soll eine optimale Ausnutzung der Sensordaten durch intelligente Algorithmen erreicht werden, die mittels KI-Methoden parametrisiert und deren Struktur mit KI-Methoden erarbeitet werden. Dadurch wird es möglich sein, VRU an oder in der Nähe einer Kreuzung zu erkennen. Bei umfangreichen Tests solcher (Hybrid-) Sensoren sollen statistische Ergebnisse erhoben werden, die für die Entwicklung neuer Anwendungen genutzt werden können und als Diskussionsgrundlage für „NextPerception“ von Bedeutung sind.

Im Bereich der Infrastruktur werden die heutigen Radarsensoren überwiegend für folgende Anwendungsbereiche in Bereich von „Smart Cities“ und „Car2x“ eingesetzt:

- Intelligente Verkehrssteuerung
- Intelligente Verkehrsüberwachung
- Intelligente Verkehrszählung/-klassifizierung

Für diese Anwendungen bedarf es einer einwandfreien Lokalisierung der VRU, um die genauen Positionen bestimmen zu können. Die derzeitigen Technologien aus den Anwendungsbereichen sind bereits vollständig auf dem Markt etabliert.

Für die Generation der nächsten Radarsensoren soll eine deutliche Verbesserung der Genauigkeiten erzielt werden, um eine präzisere Klassifizierung der Objekte erreichen zu können.

2. Ablauf

Das Projekt wurde im Zeitraum vom 01.05.2020 bis 31.07.2023 durchgeführt und gliederte sich in sechs Arbeitspakete (siehe Abbildung 1).

SMS hat dabei an folgenden Arbeitspaketen und Aufgaben gearbeitet:

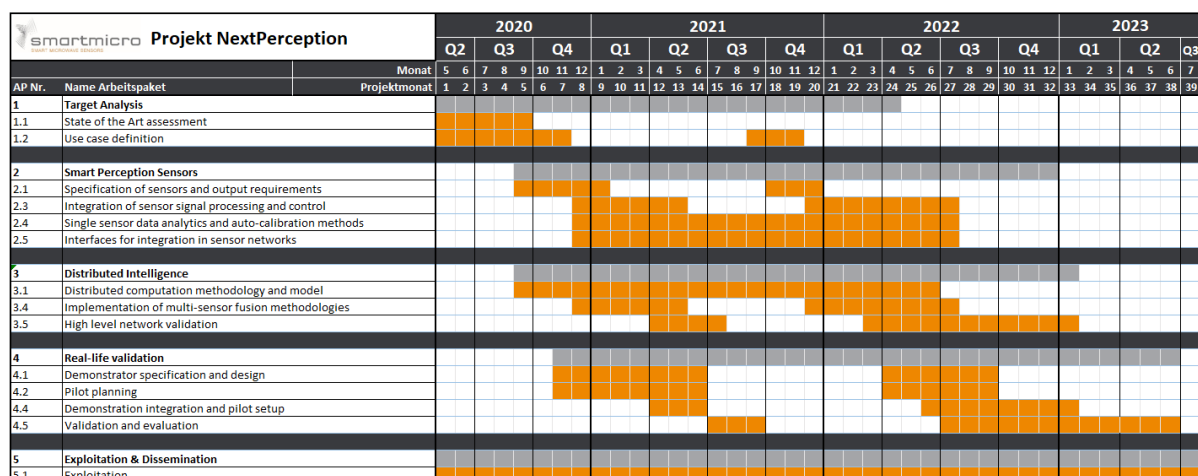


Abbildung 1: GANTT-Chart Projekt NextPerception – Ausschnitt der Arbeitspakete/Tasks mit SMS-Beteiligung

3. Ergebnisse

Im Zuge des NextPerception Projektes wurde von SMS ein Sensorfusionssystem für Anwendungen der Verkehrsüberwachung, -steuerung und -sicherheit, sowie dessen Einzelkomponenten (Hybridsensor, Fusionseinheit, Videoverarbeitungseinheit), entwickelt und aufgebaut

Schlussbericht - Teil I: Kurzbericht

(siehe Abbildung 2). Bei dem SMS TRUGRD-STREAM Hybridsensor handelt es sich um ein 24GHz-FMCW-Radar (Frequency-Modulated Continuous Wave) und eine Full-HD-Kamera, welche beide in einem Gehäuse verbaut sind.

Zentraler Bestandteil des Sensorfusionssystems bildet die von SMS entwickelte Fusionseinheit COMHUB Fusion. Diese berechnet sowohl ein Fusions-Tracking unter Verwendung der Radardetektionen von mehreren Radarsensoren, als auch eine Fusion der daraus resultierenden Radarobjekte mit den Kameraobjekten der Videoverarbeitungseinheit. Zusätzlich findet eine auf einem KI-Algorithmus basierende Objektklassifikation der Radarobjekte statt. Durch die Fusion der Daten mehrere Sensoren (Radar-Radar bzw. Radar-Kamera) wird u.a. die Genauigkeit der Positionsschätzung und der Objektklassenvorhersage erhöht, was eine zentrale Motivation für den Ansatz darstellt. Die Videoverarbeitungseinheit besteht hauptsächlich aus einem Nvidia Jetson. Dieses führt die auf einem CNN (Convolutional Neural Network, KI-Algorithmik) aufbauende Detektion, Tracking und Klassifikation von Objekten aus den Video-streams der Kameras durch. Die Kommunikation zwischen den Einzelkomponenten, sowie die Ausgabeschnittstelle für die Objektliste der Fusion ist über Ethernet realisiert. In Zusammenarbeit mit Consider IT wurden dann diese Objektlisten über eine V2X-RSU (Vehicle-to-everything - Road Side Unit) versendet.

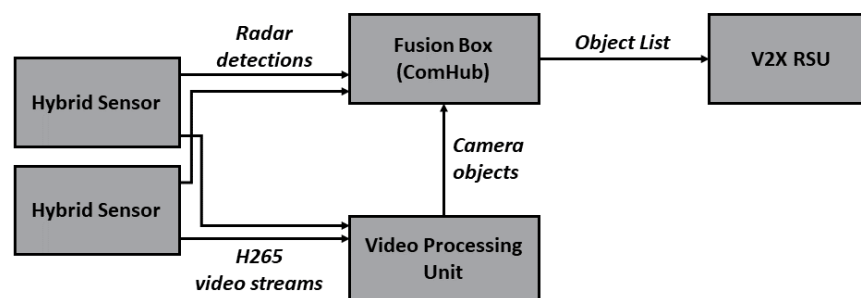


Abbildung 2: Allgemeine Architektur des Fusionssystems

Die Funktionalität des geplanten finale Pilotsystem, bestehend aus zwei Hybridsensoren, einer Fusionseinheit, einer Videoverarbeitungseinheit und einer V2X-RSU, musste am Ende aus verschiedenen Gründen (hohe Personalengpässe und massive Lieferprobleme von Bauteilen) in mehrere Subsysteme aufgeteilt werden.

So wurde die Verarbeitungskette von Sensordetektion bis Ausgabe der Objektliste direkt an einem Einzelsensor-Pilotsystem, sowie die Fusion der Daten aus mehreren Radarsensoren an einer Kreuzung im Feld erfolgreich validiert. Die Validierung der Kommunikation der Objektlisten über V2X wurde in Kooperation mit Consider IT an einem Demonstrator zusätzlich andersorts durchgeführt. Dagegen wurde die Videoverarbeitung und -fusion noch mangels vorhandener externer Hardware in einer SiL-Umgebung auf Funktionalität getestet.

Die Ergebnisse der Validierung, d.h. die für die Zielapplikationen ausreichende Lokalisierungsgenauigkeit der Verkehrsteilnehmer und die prinzipielle Funktionalität des Systems bzgl. Objektklassifikation und Radar-Kamera-Fusion, sind vielversprechend. Jedoch ist das System noch nicht in einem kommerziell verwertbaren Zustand. Bis die vollständige Produktreife erreicht ist wird SMS deshalb die Entwicklung des Fusionssystems auch weiterhin vorantreiben.

Im Zuge der Projektentwicklung wurden bereits eine Vielzahl von Radar-Messdaten und zugehörige Videos aufgenommen und dessen Ground Truth (reale Objektklassen innerhalb der Daten) gelabelt, welche auch zukünftig für die Weiterentwicklung sowie dem Training der Objektklassifikation genutzt werden.



ECSEL-Verbundprojekt NextPerception

Next generation smart perception sensors and distributed intelligence for proactive human monitoring in health, wellbeing, and automotive systems

Zuwendungsempfänger **s.m.s, smart microwave sensors GmbH**

Förderkennzeichen 16MEE0068

Projektlaufzeit 01.05.2020 – 31.07.2023

Berichtszeitraum 01.05.2020 – 31.07.2023

Koordinator (Teilvorhaben) Stephan Schlupkothen

Bearbeiter Stephan Schlupkothen, Florian Keseling

Ausführende Stelle **s.m.s, smart microwave sensors GmbH**
In den Waashainen 1
38108 Braunschweig

Gesamt-Projektleitung Johan Plomp
VTT Technical Research Centre of Finland Ltd
Kivimiehentie 3, Espoo, Finland
Telefon: +358-40-718 7684
eMail: johan.plomp@vtt.fi

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

Inhalt

1.	Ausführliche Beschreibung der Arbeiten	3
1.1	Ablauf des Projektes	3
1.2	Arbeitspakete	4
1.2.1	AP 1: Target Analysis	4
1.2.2	AP 2: Smart Perception Sensors	4
1.2.3	AP 3: Distributed Intelligence Platform	6
1.2.4	AP 4: Real-life validation	8
1.2.5	AP 5: Exploitation & Dissemination	11
1.3	Kooperation	11
2.	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten	14
3.	Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse	14
3.1	Gemachte Erfindungen, vorgenommene Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte	14
3.2	Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende	14
3.3	Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende	15
3.4	Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit	15
4.	Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	15

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

1. Ausführliche Beschreibung der Arbeiten

1.1 Ablauf des Projektes

Projektorganisation

Die F+E Arbeiten im Projektzeitraum (01.05.2020 – 31.07.2023) erfolgten auf der Grundlage der in der Gesamtvorhabenbeschreibung beschriebenen technischen Inhalte.

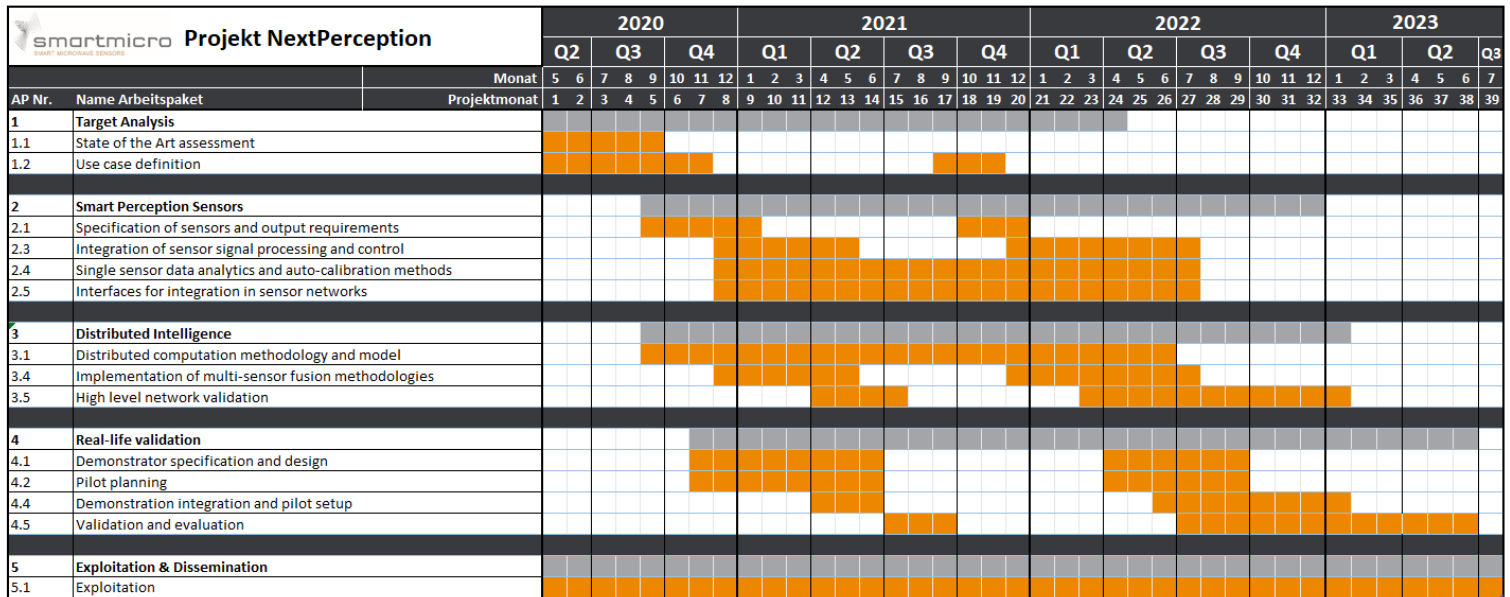


Abbildung 1: GANTT-Chart Projekt NextPerception – Ausschnitt der Arbeitspakete/Tasks mit Smartmicro-Beteiligung

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

1.2 Arbeitspakete

1.2.1 AP 1: Target Analysis

TA 1.1 | *State-of-the-art assessment:*

- ❑ Beschreibung der prinzipiellen Vor- und Nachteile von FMCW-Radar gegenüber anderen Sensortechnologien.
- ❑ Einbringung von smartmicro Know-How bzgl. Anwendungen von Radarsensorik im Bereich Traffic Management / Infrastruktur.

Deliverable: D1.1

TA 1.2 | *Use case definition:*

- ❑ Mitwirkung an der Definition und den High-Level-Requirements des Use Case 3 „Saftey and Comfort at Intersections“.

Deliverable: D1.2

- ❑ Beschreibung des Zielszenarios des Demonstrators UC3-P6 (in Zusammenarbeit mit Consider IT) mittels User Stories und der grundsätzlichen High-Level-Architektur des Systems.

Deliverable D1.5

1.2.2 AP 2: Smart Perception Sensors

TA 2.1 | *Specification of sensors and output requirements:*

- ❑ Erörterung des Beitrags von smartmicro bezüglich des UC3c.
Dabei handelt es sich um den Hybridsensor „TRUGRD Stream“ zur Detektion von VRU und anderen Verkehrsteilnehmern, welcher ein 24 GHz FMCW Radar mit einer Full-HD Farbkamera in einem gemeinsamen Gehäuse integriert. Dieser wird nicht nur die notwendige Radarsignalverarbeitung bis hin zur Detektion berechnen, sondern auch ein Tracking von Position und Geschwindigkeit und eine Objektklassifikation durchführen. Die ausgegebene Objektliste kann dann genutzt werden um darauf basierend entsprechende Maßnahmen, wie z.B. das Senden von Warnungen mittels der V2X-Einheit der Road Side Unit (RSU) durchzuführen.
- ❑ Erarbeitung eines Lösungskonzeptes für Phase 1
- ❑ Spezifikation des Sensors
- ❑ Planung der weiteren Entwicklungsschritte in Phase 1
- ❑ Einschätzung von Herausforderungen in Phase 1

Deliverable: D2.1

- ❑ Anpassung des Lösungskonzeptes für Phase 2, welches während der Entwicklungsarbeit in Phase 1 aus verschiedenen technischen Gründen einige Änderung durchlaufen hat. So wurde z.B. die Berechnung des Objekttracking und der Objektklassifikation in die Fusionseinheit verschoben, u.a. aus Gründen der

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

benötigten Rechenzeit aber auch aus Gründen des prinzipiellen Assoziationsprinzips.

- ❑ Planung der notwendigen Entwicklungsschritte für Phase 2.
- ❑ Abschätzung der Herausforderungen in Phase 2 und des zu erwartenden Ergebnisses.

Deliverables: D2.7

TA 2.3 | *Integration of sensor signal processing and control:*

An dieser Stelle wurde vertrauliches entsprechend den Richtlinien des Verwendungsnachweis geschwärt/entfernt.

Deliverable: D2.3

- ❑ Beschreibung der Sensorsoftware in D2.9, welches auf D2.3 aufbaut. Der Inhalt wurde aktualisiert, da sich u.a. die Verteilung der verschiedenen Module auf Sensor, Fusion Box und Video Processing Unit im Laufe der Entwicklung geändert hat. Außerdem sind Abschnitte bzgl. des Trackings, der Objekt-klassifikation und der Bildverarbeitung hinzugekommen. Die damit verbunden Arbeiten sind im Rahmen von AP3 durchgeführt worden.

Deliverable: D2.9

TA 2.4 | *Single sensor data analytics and auto-calibration methods:*

- ❑ Mit dem in T2.3 aufgebauten Prototypen wurden umfangreiche Radar-Rohdaten an unterschiedlichen Messstandorten (VRUs und Nicht-VRUs) und zusätzlich die zugehörigen Video-Streams des integrierten Kameramoduls aufgezeichnet. Mit diesen ist die nachträgliche Berechnung der Signalverarbeitung inkl. Detektion, Tracking und Objektklassifikation jederzeit in einer SIL-Umgebung bzw. die Bildverarbeitung der Kameradaten erneut möglich.

So können weiterhin Entwicklung und weitere Anpassungen an der Sensorsoftware parallel stattfinden, ohne dass dieser Datensatz obsolet wird.

Durch manuelles Hinzufügen der „Ground Truth“-Information wurden diese Daten bereits für eine Verwendung als Trainingsdaten der Objektklassifikation vorbereitet.

Diese Aufzeichnung von Radar-Rohdaten mit zugehörigen Video-Streams zu Entwicklungs-, Objektklassifikations- und Validierungszwecken wurde über den kompletten Projektzeitraum sukzessive weitergeführt.

- ❑ Beschreibung des über die Dauer des Projektes kontinuierlichen Prozesses von Aufnahme, Labeling und Verwendung von Messdaten zur Entwicklung der Sensorsoftware von Radar- und Kamera in D2.4.

Deliverable: D2.4

TA 2.5 | *Interfaces for integration in sensor networks:*

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

- ❑ Definition und Implementierung der MQTT-Datenströme von Smartmicros Fusionshardware zur Integration mit anderen Systemen (z.B. Road Side Units).

1.2.3 AP 3: Distributed Intelligence Platform

TA 3.1 | *Distributed computation methodology and model:*

- ❑ Um die interne Entwicklung von Tracking und Fusion zu unterstützen wurde eine modellbasierte Simulationssoftware entwickelt, welche synthetische Detektionsdaten erzeugt.
Diese ist notwendig, um kontrolliert bestimmte Verkehrssituationen nachstellen zu können welche durch die Messdatensammlung aus T2.3 nicht abgedeckt werden.
Die Ausgabe dieser synthetischen Daten erfolgt dabei in einem eigenen Binärformat, welches dem von Messdaten mit einem realen Sensor entspricht. Damit ist eine nahtlose Einbettung in die bestehende Software-Infrastruktur von smartmicro möglich und die synthetischen Daten können dann als Eingangsdaten für die Radarsoftware in einer SIL-Umgebung wie reale Ziele weiterverarbeitet werden. Dabei wird die komplette Verarbeitungskette (Detektion, Tracking, Klassifizierung, etc.) durchlaufen.

Deliverable: D3.2

TA 3.4 | *Implementation of multi-sensor fusion methodologies:*

- ❑ Es wurde ein Objekttracking basierend auf einem Unscented Kalman Filter (UKF) in entwickelt, parametrisiert, implementiert und getestet.
- ❑ Die Detektionen wurden dabei zunächst mit Hilfe eines Buffers und des OPTICS-Verfahren geclustert. Die dabei entstehenden Cluster wurden bestehenden Objekten anhand einer Metrik und einer Assoziation zugeordnet. Nicht zugeordnete Cluster konnten, wenn bestimmte Bedingungen erfüllt sind, neue Objekte eröffnen. Im Laufe des Projektes wurde dieser Ansatz jedoch wieder verworfen, da er sich als zu rechen- und speicherintensiv für die Integration in die Sensorsoftware herausstellte. Stattdessen wird jede freie Detektion zunächst prinzipiell als potenzielles neues Objekt angesehen und als plausibel bestätigt wenn es über die Zeit durch die Assoziation mit anderen Detektionen ausreichend gestützt wird.
- ❑ Der genutzte Assoziationsalgorithmus wurde mehrfach durch einen speicher- und recheneffizienteren ersetzt. Zudem wurde die Reflexionspunktberechnung der Objekte verbessert.
- ❑ In Zuge dieser Entwicklung wurden u.a. mehrere Zielbewegungsmodelle bzw. eine Kombination aus zwei Modellen mittels des „Interacting multiple model“-Ansatzes (IMM) evaluiert und implementiert. Dieser Ansatz wurde jedoch verworfen, da sich die Vorteile bzgl. der Zustandsschätzung gegenüber einem reinen CA-Filter (Constant Acceleration) als zu gering im Verhältnis zum erhöhten Ressourcenaufwand herausstellten. Das CA-Bewegungsmodell wurde am Ende selbst durch einen CT-Filter (Constant Turnrate) ersetzt um stabilere Objektausrichtungen zu erreichen.
- ❑ Der Tracking-Ansatz wurde erweitert, so dass nun auch apriorisches Wissen über Straßenverlauf/Kreuzungsaufbau unterstützend mit einfließt.

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

- ❑ Entwicklung und Implementierung eines Algorithmus zur Trennung bzw. Zusammenführung von Tracks im Zuge der Tracking-Entwicklung.
- ❑ Da sich die Detektion stationärer Ziele für das Tracking von Objekten an Kreuzungen in urbaner Umgebung als nachteilig herausgestellt hat werden diese Detektionen nicht vom Tracking verwendet. Damit stehenbleibende VRUs und Fahrzeuge dennoch getrackt bleiben wurde ein Algorithmus entwickelt und implementiert der diese Funktionalität im Tracking bereitstellt.
- ❑ Entwicklung und Implementierung einer Längenschätzung im Tracking.
- ❑ Implementierung einer ersten Funktionalität, welche die wechselseitige Beziehung zwischen Objekten regelt.
- ❑ Entwicklung und Implementierung eines Schätzverfahrens zur Bestimmung der Radarsensorausrichtung.
- ❑ Es wurde in der Auslegung des Tracking eine Fusion mehrerer Radar Sensoren berücksichtigt, welche bereits in Phase 1 des Projektes früh evaluiert wurde. Für die Entwicklung dieses Aspektes der Trackingsoftware wurden spezielle Messdaten mit mehreren Sensoren aufgezeichnet. Zudem wurden zuvor erstellte Konzepte bzgl. Timing und Synchronisation der Sensoren umgesetzt.
- ❑ Hinsichtlich der Objektklassifikation mit Hilfe von Radar wurden zunächst neue Merkmale herausgearbeitet und auf Erfahrung basierte Merkmale neu bewertet (u.a. mittels Korrelationsanalyse). Hierfür dienten Daten eines alten etablierten Sensors (Typ42), welcher in der frühen Entwicklungsphase als Plattformträger fungierte.

Ziel ist es einerseits eine bessere Trennbarkeit der Objekte im Merkmalsraum zu erreichen, bzw. andererseits die Anzahl der Merkmale zu reduzieren, um die Komplexität des Klassifikators zu reduzieren. Ebenso wie die bessere Trennbarkeit kann bei gleichbleibender Dimensionierung der Entscheidungsbäume eine Reduktion der Komplexität zu einer besseren Güte der Prädiktion führen. Im Laufe des Projektes wurde der Klassifikator erneut mit einem erweiterten Datensatz trainiert, sowie ein Vergleich der Performance bei unterschiedlicher Klassenanzahl bzw. -einteilung durchgeführt.

- ❑ Evaluierung eines Bayesschen Filteransatzes innerhalb der Objektklassifikation zur Schätzung der Objektklassenwahrscheinlichkeiten über die Zeit.
- ❑ Für die Objektklassifikation mittels Radar wird ein Algorithmus basierend auf Entscheidungsbäumen genutzt, welche beim Training durch zwei zufallsgesteuerte Ansätze heraussticht.

Es wurde sich hier bewusst gegen ein Deep-Learning-Ansatz entschieden, da die dafür notwendige Datenmenge (Big Data) nicht vorhanden ist bzw. nur unter immensen Aufwand sammelbar wäre.

Zudem wird die Objektklassifikation mittels Radar bisher in der Forschung im Vergleich zu Video kaum behandelt, so dass man auch nicht auf bereits frei verfügbare Trainingsdatensätze zurückgreifen könnte. Ein weiterer Vorteil des gewählten Ansatzes ist auch, dass er für den Menschen eher nachvollziehbare Entscheidungen trifft und keine komplett geschlossene Black-Box darstellt.

- ❑ Entwicklung der kamerabasierten Objekterfassung, -verfolgung und -klassifikation. Die Objektdetektion und -klassifikation geschieht mittels eines Deep-Learning-Verfahrens. Im Gegensatz zur Objektklassifikation per Radar sind vorkonditionierte Prädiktionsmodelle im Bereich der videobasierten Objektklassifikation Standard und frei verfügbar.

Parallel dazu wird über klassische Verfahren der Optische Fluss für zeitlich aufeinanderfolgende Bilder ermittelt, sowie eine Vorder- und Hintergrundschätzung durchgeführt. Mittels der mit diesen Verfahren gewonnen Informationen können

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

letztendlich Geschwindigkeit und Fahrtrichtung der Objekte bestimmt werden. Die Informationen werden einem Kalman-Filter zugeführt, der so die Fahrzeuge trackt. Zusätzlich werden die 3D-Boxen der Objekte und damit die Fahrzeugdimensionen ermittelt. Final liegt für die Objekte im Kamerabild somit eine 3D-Bewegungs- und Dimensionsschätzung vor, die als kameraseitige Grundlage für eine Verarbeitung im Rahmen einer Sensorfusion genutzt werden soll.

- ❑ Es wurde eine Radar-Kamera-Fusion entwickelt. Es handelt sich dabei um eine Track-zu-Track-Fusion, d.h. Kamera- und Radarobjekte werden anhand einer berechneten Metrik zunächst mittels Assoziations-Algorithmus zueinander zugeordnet und anschließend werden Zustand und Kovarianz fusioniert. Dies beinhaltet ebenso die Transformation zwischen Kamera-, Radar- und Plattformkoordinatensystem.

Deliverables: D3.8, D3.9, D3.10

TA 3.5 | *High level network validation:*

- ❑ Die Validierung der Kommunikation des Sensors mit einer RSU wurde im Zuge der Demonstrator/Pilot-Validierung durchgeführt.

Deliverable: D3.13

- ❑ Beschreibung des allgemeinen Validierungsprozesses während der Entwicklung.

Deliverable: D3.14

1.2.4 AP 4: Real-life validation

TA 4.1 | *Demonstrator and pilot definition:*

- ❑ Zusammen mit CIT wurde der Demonstrator UC3cD6 für Phase 1 definiert und spezifiziert.

Deliverable: D4.1

- ❑ Zusammen mit CIT wurde der Demonstrator UC3cD6 für Phase 2 des Projektes definiert und spezifiziert.

Deliverable: D4.6

TA 4.2 | *Pilot planning:*

- ❑ Aus dem Demonstrator UC3cD6 wurden in Kooperation mit CIT die Pläne für das Pilot-System UC3-P6 in Phase 1 abgeleitet.

Deliverable: D4.2

- ❑ In Kooperation mit CIT wurden die Pläne für das Pilot-System UC3-P6 für Phase 2 ausgearbeitet.

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

Deliverable: D4.7

TA 4.4 | *Demonstration integration and pilot setup:*

- ❑ Es wurde Unterstützung für CIT beim Aufbau und der Durchführung einer ersten Demonstration des Piloten gegeben.

Deliverable: D4.4

- ❑ Es wurde Unterstützung für CIT beim Aufbau des Demonstrators für Phase 2 gegeben.

Deliverable: D4.9

- ❑ Aufbau des Subpiloten in Braunschweig für Phase 2. Außerdem wurde CIT beim Aufbau des ursprünglich geplanten Piloten bzw. dem Ersatzpiloten in Hamburg unterstützt.

TA 4.5 | *Validation and Evaluation:*

- ❑ Für die Validierung des Pilot-Systems wurden zunächst Messungen mit den Sensoren in einer Messkammer durchgeführt. Das Pilot-Setup wurde anschließend an Laternen einer T-Kreuzung mit Fußgängerquerung aufgebaut und es wurden ein erstes System aus zwei Hybridsensoren (Detektion, Tracking, Kommunikation) mit Testmessungen validiert. Zuvor wurden bereits im Zuge von TA 4.4 erste Validierungsmessungen auf einem Parkplatz mit Anbindung einer Road Side Unit Messungen vorgenommen. Die Ergebnisse der Validierung sind in D3.13 zu finden.

Deliverables: D3.13, D4.5

- ❑ Validierung und Evaluierung des Gesamtsystems:
Die Funktionalität des geplanten finale Pilotsystem (Abbildung 4), bestehend aus zwei Hybridsensoren, einer Fusionseinheit, einer Videoverarbeitungseinheit und einer V2X-RSU (Road Side Unit), musste am Ende aus verschiedenen Gründen (hohe Personalengpässe und massive Lieferprobleme von Bauteilen) in mehrere Subsysteme aufgeteilt werden.

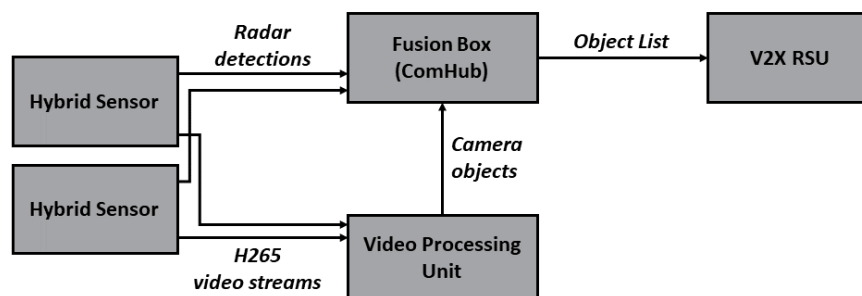


Abbildung 4: Allgemeine Architektur des Fusionssystems

So wurde die Verarbeitungskette von Sensordetektion bis Ausgabe der Objektliste direkt an einem Einzelsensor-Pilotsystem, sowie die Fusion der Daten aus mehreren Radarsensoren an einer Kreuzung im Feld erfolgreich validiert. Die Validierung der Kommunikation der Objektlisten über V2X wurde in Kooperation

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

mit Consider IT an einem Demonstrator zusätzlich andernorts durchgeführt. Dagegen wurde die Videoverarbeitung und -fusion noch mangels vorhandener externer Hardware in einer SiL-Umgebung auf Funktionalität getestet.

Für den erste Teil der Validerung wurden ein Fußgänger und ein Fahrzeug mit einem Racelogic GPS-Empfänger und einem Computer ausgestattet, der die CAN-Nachrichten des GPS aufzeichnete (siehe Abbildung 5). Der Fußgänger und das Fahrzeug führten dann mehrere Bewegungsabläufe im Sichtfeld des Radarsensors durch. Die Radarerkennung wurden parallel über Ethernet in einem proprietären Format aufgezeichnet. In einer SiL-Umgebung wurde dann die Objektverfolgung dieser Radarerfassungen im ComHub berechnet. Schließlich wurden die Objekte hinsichtlich Position, Geschwindigkeit und Richtung in einem gemeinsamen Koordinatensystem verglichen.

An dieser Stelle wurde vertrauliches entsprechend den Richtlinien des Verwendungsnachweis geschwärt/entfernt.

Die Radarfusion wurde an einem anderen Subsystem aus zwei Hybridsensoren und einer ComHub Fusionseinheit an einer Kreuzung erfolgreich validiert (siehe Abbildung 7), wobei sich die vorher angenommenen Vorteile gegenüber des Einsatzes von einzelnen Sensoren, wie z.B. das lückenlosere Tracking der Objekte im Kreuzungsbereich, bestätigten.

An dieser Stelle wurde vertrauliches entsprechend den Richtlinien des Verwendungsnachweis geschwärt/entfernt.

Mit einem dritten Subpiloten wurde dann in Kooperation mit Consider IT die Kommunikation der resultierenden Objektlisten über eine V2X-RSU überprüft. Dabei wurden Latenzzeit, die Häufigkeit und der Inhalt der versendeten und empfangenen Nachrichten erfolgreich validiert. Die Latenzzeit von durchschnittlich 18ms lässt den Verkehrsteilnehmern in realen Szenarien genügend Zeit, um auf eingehende Informationen zu reagieren. Die Häufigkeit der Meldungen stellt sicher, dass wichtige Bewegungen der Fahrzeuge und VRUs berücksichtigt werden. Der Inhalt der Nachricht kann genügend Informationen enthalten, so dass auch verkehrsreiche Situationen an Kreuzungen abgedeckt werden können.

Der Funktionstest der Videoverarbeitung und -fusion fand in einer SiL-Umgebung statt (siehe Abbildung 8). Dabei wurden die von uns erwarteten Stärken der einzelnen Sensortypen bestätigt. Während mittels Radar Entfernung und Geschwindigkeit deutlich besser bestimmt werden können, ergeben sich für die Kamera Vorteile hinsichtlich der Klassifizierung und Dimensionsschätzung. Wie erhofft wird also durch eine geschickte Fusion beider Daten die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems verbessert.

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

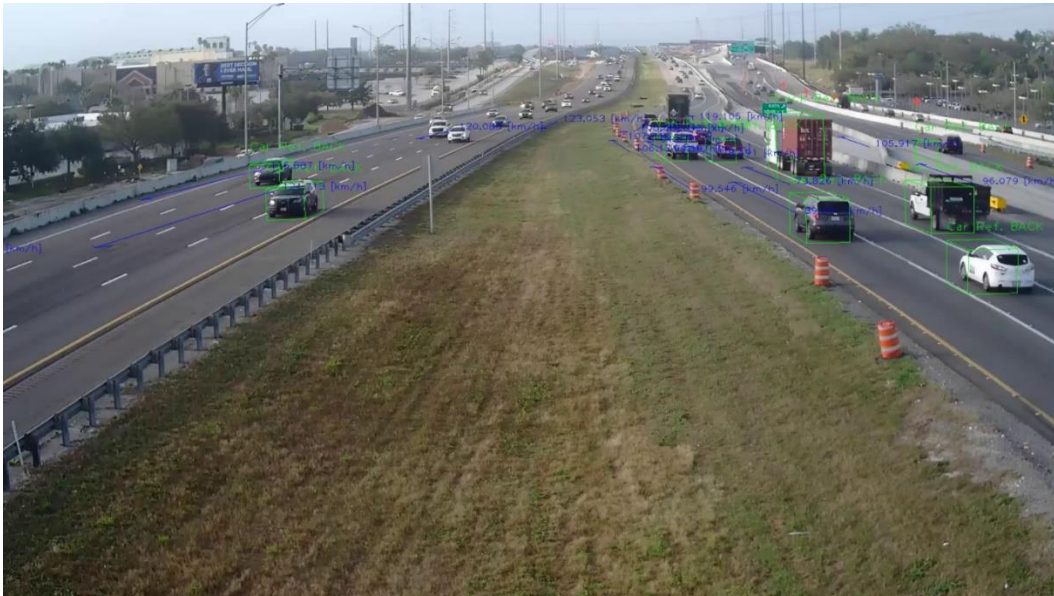


Abbildung 8: Videobild mit augmentierten Kamera-Objekten (grüne Boxen) und Radar-Objekten (blauer Pfeil)

Deliverable: D4.10, D3.14

1.2.5 AP 5: Exploitation & Dissemination

TA 5.1 | Exploitation:

- ☐ Durchführung Konkurrenzanalyse
- ☐ Bedarfs-Analyse hochauflösender Sensoren für Applikationen an Kreuzungen in den USA
- ☐ Verfeinerung des Verwertungsplan für Kreuzungen / VRU Systeme / Sensoren
- ☐ Aufbereitung der im Projekt gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse für die Übertragung auf die bestehende Produkt- und Dienstleistungspalette von smartmicro, mit dem Schwerpunkt Radarsensorik auf Infrastrukturanwendungen.
- ☐ Da die Produktentwicklung noch andauert, steht die kommerzielle Verwertung noch aus.

1.3 Kooperation

Im Laufe des Projektes wurde an folgende Arbeitstreffen / Telefonkonferenzen von Seiten smartmicro mit anderen Projektpartnern teilgenommen:

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

Datum	Ort*	Serie	Thema	Teilnehmer
2020				
30.09.20	MTM	2W, 5A	D1.2 planning meeting	T1 Teilnehmer
28.09.20	MTM	2W, 5A	D1.3 requirements meeting	T1 Teilnehmer
01.09.20	MTM	2W	NextPerception WP2 - T2.1 regular call	T2 Teilnehmer
02.10.20	MTM	-	WP2 calls	T2 Teilnehmer
08.10.20	MTM	-	WP2 – V2X discussion	T2 Teilnehmer
01.10.20	MTM	-	WP2 Multisensor Radar & camera fusion group	Radar & camera fusion group Partner
22.10.20	MTM	-	WP2 Radar sensor group meeting	Radar sensor group Partner
16.09.20	MTM	2W, 5A	T3.2 - D3.4	T3 Teilnehmer
07.10.20	MTM	2A	Demonstrator 3.6 (Follow up)	UC3 Partner
07.07.20	MTM	-	NextPerception UC3 Safety and comfort at intersections	UC3 Partner
07.10.20	MTM	-	UC3 Input for deliverables	UC3 Partner
22.10.20	MTM	-	NextPerception UC3c Next steps	UC3c Partner
05.11.20	MTM	2W	NextPerception UC3c Regular meeting	UC3c Partner
12.11.20	MTM	5A	NextPerception UC3c Interface Definition	UC3c Partner
15.09.20	MTM	4W	[NextPerception] DE Monthly coordination meeting	Alle Partner in Deutschland
23.05.20	MTM	4W	Project Status meeting	Alle Projekt Partner
26.05.20	MTM	-	Kick Off 26-27 May 2020	Alle Projekt Partner
29.10.20	MTM	-	Consortium meeting (29. – 30.09.20)	Alle Projekt Partner
2021				
28.04.21	MTM	-	Consortium meeting (28. – 29.04.21)	Alle Projekt Partner
17.11.21	MTM	-	Consortium meeting (17./19.11.21)	Alle Projekt Partner
30.03.21	MTM	4W	Status Meeting	Alle Projekt Partner
13.10.21	MTM	2W, 5A	WP1 periodic meeting	T1 Teilnehmer
05.01.21	MTM	2W, 2A	T2.1 Meeting	T2 Teilnehmer
22.04.21	MTM	2W, 3A	T2.3 Meeting	T2 Teilnehmer
22.04.21	MTM	4W, 2A	T2.4 Meeting	T2 Teilnehmer
19.02.21	MTM	2W, 3A	D3.2 Meeting	T3 Teilnehmer
20.01.21	MTM	-	T3.4 Kickoff	T3 Teilnehmer
17.02.21	MTM	2W, 5A	T3.4 Meeting	T3 Teilnehmer

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

02.02.21	MTM	2W/4W, 15A	WP4 regular Meeting	T4 Teilnehmer
30.04.21	MTM	-	T4.4 Kickoff	T4 Teilnehmer
07.07.21	MTM	-	T4.5 recurrent meeting	T4 Teilnehmer
10.02.21	MTM	4W, 2A	UC3 Meeting	UC3 Partner
11.02.21	MTM	3A	UC3c Meeting	UC3c Partner
03.02.21	MTM	-	UC3c Interface Meeting	UC3c Partner
13.04.21	MTM	4W	NextPerception DE Monthly coordination meeting	Alle Partner in Deutschland
06.09.21	MTM	-	TAVF Preparation Meeting	Alle Partner in Deutschland
09.02.21	MTM	1W/2W	CIT Status Meeting	CIT & Smartmicro
2022				
11.01.22	MTM	4W	Status Meeting	Alle Projekt Partner
09.06.22	MTM	2W, 4A	WP2 Bi-Monthly Meeting	T2 Teilnehmer
25.01.22	MTM	4W	WP3 Common Partner Meeting	T3 Teilnehmer
09.05.22	MTM	2W	WP4 Regular Meeting	T4 Teilnehmer
11.01.22	MTM	4W	NextPerception DE Monthly coordination meeting	Alle Partner in Deutschland
22.02.22/ 16.06.22	MTM	2A	TAVF Preparation Meeting	CIT & Smartmicro
12.01.22	MTM	1W/2W	CIT Status Meeting	CIT & Smartmicro
2023				
10.01.23	MTM	4W	Status Meeting	Alle Projekt Partner
10.01.23	MTM	4W	WP3 Common Partner Meeting	T3 Teilnehmer
16.01.23	MTM	4W	WP4 Regular Meeting	T4 Teilnehmer
27.06.23	MTM	-	WP5 Meeting	T5 Teilnehmer
14.02.23	MTM	4W	NextPerception DE Monthly coordination meeting	Alle Partner in Deutschland
25.01.23	MTM	2W	CIT Status Meeting	CIT & Smartmicro
13.09.23- 15.09.23	F2F	-	Final Review Meeting, Turin (Italien)	Alle Projekt Partner

Tabelle 3: Arbeitstreffen/Telefonkonferenzen im aktuellen Berichtszeitraum

*MTM: Microsoft Teams, F2F: Face to face

Aufgrund der hohen Anzahl an Meetings im Gesamtzeitraum kann die Vollständigkeit der Auflistung nicht garantiert werden.

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

2. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

SMS ist Marktführer bei der Entwicklung und Herstellung von Radarsensoren für Infrastrukturanwendungen. Neue KI-Ansätze für diesen Bereich sollen langfristig strategisch verfolgt und in die Entwicklung neuer Produkte integriert werden. Die im Projekt getätigten notwendigen Arbeiten, Untersuchungen und Entwicklungen bilden dafür die Grundlage.

Aufgrund der hohen Komplexität benötigt SMS Kooperationspartner für den wissenschaftlichen Austausch, sowie IP- und Entwicklungsarbeit. Auf diesen Gebieten ergeben sich durch die öffentliche Förderung für SMS und die Projektpartner diverse Vorteile. Neben der Reduktion des hohen wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Risikos wird durch die Zusammenarbeit mit nationalen Industrie- und Forschungspartnern die Grundlage für eine weitere Steigerung der Entwicklungseffizienz und Festigung der Marktposition führender deutscher Unternehmen geschaffen. Es wurde deshalb eine enge Kooperation mit Projektpartner NXP im Bereich der Radarentwicklung eingegangen. SMS wird die Radar-Chips von NXP in zukünftige Radarsensoren verbauen bzw. die Entwicklung in diesem Bereich wurde bereits aufgenommen. Auch die Zusammenarbeit mit CIT innerhalb des Projektes bzgl. V2X lieferte uns wertvolle Erkenntnisse und Erfahrungen für notwendige zukünftige Entwicklungen in diesem Bereich.

3. Voraussichtlicher Nutzen / Verwertbarkeit der Ergebnisse

3.1 *Gemachte Erfindungen, vorgenommene Schutzrechtsanmeldungen, erteilte Schutzrechte*

- ☐ Es liegen keine Erfindungen, Schutzrechtsanmeldungen oder erteilte Schutzrechte für dieses Vorhaben vor.

3.2 *Wirtschaftliche Erfolgsaussichten nach Projektende*

- ☐ Immer mehr neue Fahrzeuge werden mit Radarsensorik und darauf aufbauende Fahrerassistenzsysteme ausgestattet, welche die Sicherheit, den Verkehrsfluss und den Komfort erhöhen. Ab 2024 sind diese bereits in Vielzahl Pflicht für neu zugelassene Fahrzeugmodelle in der EU. Parallel wird das Konzept der „Smart Cities“ immer stärker verfolgt. Radar als Infrastruktursensorik für intelligente Verkehrssteuerung, -überwachung, -klassifizierung und -zählung gewinnt immer mehr an Bedeutung und wird dementsprechend immer häufiger eingesetzt. Dieser Trend wird voraussichtlich noch deutlich zunehmen. In Zukunft werden zudem Fahrzeuge die Informationen der Infrastruktursysteme z.B. via V2X empfangen können und durch die kombinierte erhöhte Wahrnehmung wird eine weitere Verbesserung von Verkehrsfluss und Sicherheit ermöglicht werden. Erste Automobilhersteller verbauen bereits entsprechende Empfänger in Serienfahrzeugen. Der Bedarf an Radarsensorik wird also in beiden Bereichen wahrscheinlich weiterhin steigen. Ebenso wie die Anforderungen an diese. Um auch in Zukunft erfolgreich am Markt zu bestehen, entwickelt Smartmicro deshalb kontinuierlich seine Radarsensorik weiter. Die in dem Projekt getätigten Entwicklungen werden weiter bis zur Produktreife und darüber hinaus verfolgt werden.

Schlussbericht - Teil II: Eingehende Darstellung

3.3 *Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten nach Projektende*

- ❑ Radarfusion, Objektklassifikation mittels KI-Algorithmen und Fusion mit Kamerasensorik sind Schlüsseltechnologien, um Infrastruktursensorik auf das nächste Level zu bringen. Mit den in NextPerception getätigten Entwicklungen hat Smartmicro bereits die Grundlage dafür gelegt und aufgrund der bereits vielversprechenden Leistung sind wir von den langfristigen Erfolgsaussichten dieser Ansätze überzeugt.

3.4 *Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit*

- ❑ Die gewonnen Ergebnisse und Erkenntnisse, u.a. im Bereich Radarfusion, KI-Ansätze und Kamerafusion während des Projektes werden nicht nur in gegenwärtige, sondern auch in zukünftige Entwicklungen einfließen. Bisher wurden zudem KI-Algorithmen wissenschaftlich hauptsächlich im Bereich der Bildverarbeitung eingesetzt. Die Nutzung dieser Ansätze in Verbindung mit Radar ist im Vergleich noch recht wenig behandelt. Auch wenn Smartmicro bereits einen Ansatz im Zuge des Projektes umgesetzt hat, so besteht in dem Bereich noch Entwicklungspotential. Die aufkommende V2X-Kommunikation und damit einhergehende Vernetzung von Fahrzeug- und Infrastruktursensorik wird zudem zu neuen Applikationen und Herausforderungen führen, woraus wiederum neuen Produkten und Lösungen resultieren werden.

4. Bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

- ❑ Im Projektzeitraum wurden keine wesentlichen technischen und wissenschaftlichen Ergebnisse Dritter bekannt, die eine Veränderung der forschungsrelevanten Zielsetzungen der im Smartmicro-Teilvorhaben durchzuführenden F+E-Arbeiten erfordern hätten.