



**Rahmenprogramm der Bundesregierung für Forschung und Innovation 2016-2020**

**"Mikroelektronik aus Deutschland - Innovationstreiber der Digitalisierung"**

**Verbundprojekt: PRYSTINE**

**Verbundnummer: ES2ESC17202**

**Förderkennzeichen: 16ESE0328**

**Schlussbericht zum Teilvorhaben der EPOS GmbH & Co KG**

**Integrierte robuste Radar Sensoren und Controller-Komponenten für  
Intelligenz in Automobilen**



**Laufzeit:** 16.06.2018 – 30.04.2021 (3 Jahre)  
(verlängert bis 31.10.2021)

**Technischer Ansprechpartner für das Teilvorhaben:**

Name: Dr. Ing Amer Aslam-Siddiqi Telefon: +49 203 28080 157 E-Mail: amer.siddiqi@epos-d.com	EPOS embedded core & power systems GmbH & Co. KG Dr. Amer Aslam-Siddiqi Düsseldorfer Landstr. 401 47259 Duisburg
---	---

**Administrativer Ansprechpartner für das Teilvorhaben:**

Name: Julia Hartmann Telefon: +49 203 28080 130 E-Mail: Julia.Hartmann@epos-d.com	EPOS embedded core & power systems GmbH & Co. KG Julia Hartmann Düsseldorfer Landstr. 401 47259 Duisburg
---	---

# Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	3
2	Projektidee, Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	4
2.1	Zielsetzung des Gesamtvorhabens.....	4
2.2	Beiträge und Zielsetzung von EPOS.....	6
2.3	Wissenschaftlich-technischer Stand bei Projektstart .....	7
2.4	Zusammenarbeit mit Partnern.....	7
3	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	8
3.1	AP1 Anforderungen und Spezifikation.....	8
3.2	AP2 System Level Design und Simulationsanalyse .....	9
3.3	AP3 Hardware-Modul Entwicklung.....	11
3.4	AP4 Eingebettete Systeme und Computing .....	13
3.5	AP5 System Integration .....	13
3.6	AP6 Validierung, Test und Demonstration .....	15
3.7	AP7 Verbreitung, Ausbeutung und Standardisierung .....	18
3.8	AP8 Project Management und Controlling .....	18
4	Erfolge und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse.....	18
5	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten .....	18
6	Verwertungsplan und Erfolgsaussichten .....	18
6.1	Wirtschaftliche Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	18
6.2	Wissenschaftlicher Fortschritt durch die Ergebnisse .....	20
6.3	Wissenschaftliche-und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit der Ergebnisse .....	20
7	Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises.....	21

# 1 Zusammenfassung

Das Teilprojekt von EPOS hat die Erforschung von Halbleiterkomponenten in Richtung robuste und fehlertolerante Designs zum Ziel. Die Aktivitäten von EPOS betreffen in erster Linie die Entwicklung neuartiger CMOS-basierter Radar Sensoren einschließlich Empfänger, Sender und Signalverarbeitungs-komponenten. Die CMOS-Radarsensoren repräsentieren einen wesentlichen Baustein der PRYSTINE FUSION-Plattform. Entsprechend eng wurde mit den Partnern in Supply Chain 1 und 2 zusammengearbeitet werden.

Die Arbeiten von EPOS adressieren in erster Linie die Supply Chain SC1 'Components LIDAR, RADAR and Safety Controllers for FUSION', und zusätzlich auch Arbeiten für SC2 'High Performance Embedded Control and Intelligence for FUSION'. Die Supply Chains erarbeiten wichtige Demonstratoren zum Nachweis der übergeordneten Projektziele. Die dafür erforderlichen Arbeiten sind den Arbeitspaketen zugeordnet. Hier beteiligt sich EPOS an mehreren Arbeitspaketen, wobei der klare Schwerpunkt auf Arbeitspaket 3 liegt.

Besonders enge Zusammenarbeit besteht mit dem dt. Partner Infineon AG auf dem Gebiet der fehlertoleranten CMOS-Radarsensorsysteme.

Hinsichtlich der Verwertung liegt das übergeordnete Ziel von EPOS in der Sicherstellung und Expansion der EPOS GmbH als Entwicklungsstandort. Verbunden damit ergibt sich die weitere Schaffung von sehr hochqualifizierten Arbeitsplätzen entlang der gesamten Verwertungskette in Europa. Um sich in einem höchst innovativen, zukunftsentscheidenden Markt - wie dem des automatisierten und autonomen Fahrens - erfolgreich positionieren zu können, sind weitere Faktoren entscheidend:

- a) Es gilt die Systemanforderungen der OEMs und Tier1s sehr gut zu verstehen und das Geforderte zu liefern. Neben den reinen Anforderungen an Funktion und Performanz bekommen zunehmend Kriterien wie Sicherheit, Konformität zu Standards sowie Zuverlässigkeit im gesamten Entwicklungsprozess entscheidenden Stellenwert. EPOS wird in PRYSTINE gemeinsam mit den Projektpartnern Neues erforschen und für die Zukunft lernen.
- b) Die Verfügbarkeit von höchst effizienten Arbeitsmethoden, Prozessen und Automatisierungswerkzeugen. Nur damit kann sichergestellt werden, dass die innovativen Halbleiterkomponenten termingerecht und fehlerfrei bereitgestellt werden können. Der Bedarf an Nacharbeiten hat schon manches höchst erfolgsversprechende Projekt vernichtet.
- c) Es reicht nicht, wenn der Halbleiterhersteller die Systemanforderungen versteht, es wird umgekehrt auch immer wichtiger, dass die Anwender die Komponenten verstehen. Technologien, Bauteile-Eigenschaften und natürlich Schaltungen werden im Rahmen von PRYSTINE innoviert und die neuen Möglichkeiten den Anwendern (bis hin zum OEM) frühestmöglich zur Kenntnis gebracht. Derartige Zusammenarbeit kann nur ein Projekt wie PRYSTINE leisten, da die gesamte Wertschöpfungskette sehr offen für dieselben Ziele zusammengearbeitet.

Der Gesamtmarkt für Halbleiter- und Systemkomponenten für ADAS-Systeme ist die nächsten Jahre durch ein immenses Wachstum gekennzeichnet, insbesondere im Hinblick auf die adressierten Radarsensoren und Sicherheitscontroller ist lt. Strategy Analytics (Studie vom Nov. 2017) von 2016 bis 2021 mit einer Steigerung von deutlich über 100% zu rechnen

## **2 Projektidee, Aufgabenstellung und Zielsetzung**

### **2.1 Zielsetzung des Gesamtvorhabens**

Die Automatisierung von Fahrzeugen – letztlich mit dem Ziel des vollautonomen Fahrens – wurde als ein wesentlicher Enabler identifiziert, um die großen gesellschaftlichen Herausforderungen „Individuelle Mobilität“ und „Energieeffizienz“ zu meistern. Automated Driving Functions (ADF) sind ein wichtiger Schritt.

Eine der größten Herausforderungen für die erfolgreiche Realisierung des hochautomatisierten Fahrens ist der Schritt von SAE Level-2 (Partial Automation) zu SAE-Level-3 (Conditional Automation) und höher. Auf Ebene 3, wie in Abbildung 1 aufgeführt, bleibt der Fahrer als Fallback-Option verfügbar, falls in der Automatisierungskette ein Fehler auftritt oder wenn die ADF ihre „Operational Boundaries“ erreicht. Auf höheren Ebenen kann man sich nicht auf ein rechtzeitiges und angemessenes Eingreifen des Fahrers verlassen, daher muss die Automatisierung in der Lage sein, sicherheitskritische Situationen alleine zu bewältigen.

Hierfür ist das Fail-Operational-Verhalten in den Phasen (Sense, Plan und Act) der Automatisierungskette unerlässlich. Das Ziel von PRYSTINE ist die Realisierung einer Fail-operational Urban Surround PerceptiON (FUSION), die auf einer robusten Fusion von Radar- und LiDAR-Sensoren basiert, sowie von Steuerungsfunktionen, um ein sicheres automatisiertes Fahren in städtischen und ländlichen Umgebungen zu ermöglichen.

SAE level	Name	Narrative Definition	Execution of Steering and Acceleration/Deceleration	Monitoring of Driving Environment	Fallback Performance of Dynamic Driving Task	System Capability (Driving Modes)
<b>Human driver monitors the driving environment</b>						
<b>0</b>	<b>No Automation</b>	the full-time performance by the <i>human driver</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even when enhanced by warning or intervention systems	Human driver	Human driver	Human driver	n/a
<b>1</b>	<b>Driver Assistance</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by a driver assistance system of either steering or acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	Human driver and system	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>2</b>	<b>Partial Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific execution by one or more driver assistance systems of both steering and acceleration/deceleration using information about the driving environment and with the expectation that the <i>human driver</i> perform all remaining aspects of the <i>dynamic driving task</i>	<b>System</b>	Human driver	Human driver	Some driving modes
<b>Automated driving system ("system") monitors the driving environment</b>						
<b>3</b>	<b>Conditional Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the dynamic driving task with the expectation that the <i>human driver</i> will respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	<b>System</b>	Human driver	Some driving modes
<b>4</b>	<b>High Automation</b>	the <i>driving mode</i> -specific performance by an automated driving system of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> , even if a <i>human driver</i> does not respond appropriately to a <i>request to intervene</i>	System	System	<b>System</b>	Some driving modes
<b>5</b>	<b>Full Automation</b>	the full-time performance by an <i>automated driving system</i> of all aspects of the <i>dynamic driving task</i> under all roadway and environmental conditions that can be managed by a <i>human driver</i>	System	System	System	<b>All driving modes</b>

Abbildung 1 - Automatisierungsgrade und Verantwortlichkeiten gemäß SAE-Definition

Der Weg zur Erreichung dieses Ziels im PRYSTINE-Projekts besteht aus vier technischen Schlüsselzielen (Objectives), die in Abbildung 2 dargestellt und in Tabelle 1 zusammengefasst sind. Neben den vier Objectives, die die unterschiedlichen Ebenen (Komponenten, Kontrollsysteme, Architekturen und Fahrfunktionen) adressieren, fokussiert PRYSTINE auch auf die nicht-technischen Ziele "Wettbewerbsvorteile" und "Benutzerakzeptanz" hochautomatisierter Fahrfunktionen.

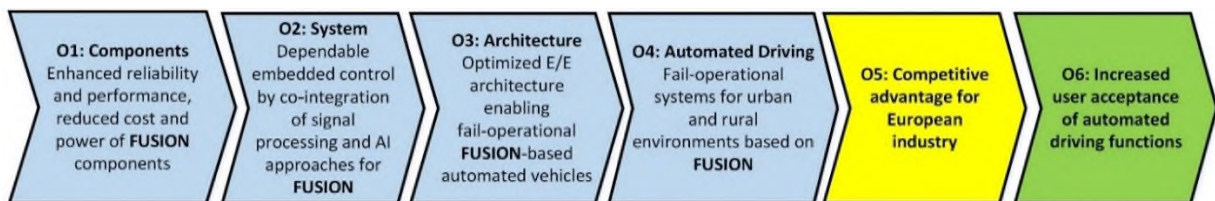


Abbildung 2 - PRYSTINE Projektziele – Wirkkette für fehlertolerante Rundumwahrnehmung (FUSION)

Tabelle 1: PRYSTINE Projektziele und Key Performance Indikatoren

<b>Objective 1: Enhanced reliability and performance, cost and power of FUSION components</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 25% less data communication required compared to state-of-the-art</li> <li>• 30% less false-positive detections compared to separate sensing approach</li> </ul>
---

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fail operational sensor compound vs. fail silent individual sensing approaches</li> <li>• Power reduction of 25% through semiconductor material improvements and functional convergence in sensor modules</li> <li>• Up to 30% cost reduction and 10% margin improvement for perception sub-systems</li> </ul>
<b>Objective 2: Dependable embedded control by co-integration of signal processing and AI approaches for FUSION</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fail operational system approach for ADF (SAE Level 3+) vs. fail silent advanced driver assistance system (ADAS) approaches (SAE Levels up to 2)</li> <li>• Proposed Certification Approach for AI based sensor fusion, diagnostic, and control</li> </ul>
<b>Objective 3: Optimized E/E architecture enabling FUSION-based automated vehicles</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fail operational system architecture demonstrator for ADF (SAE Level 3+) vs. fail silent ADAS approaches (SAE Levels to 2)</li> <li>• LiDAR / RADAR sensor compound demonstrator</li> </ul>
<b>Objective 4: Fail-operational systems for urban and rural environments based on FUSION</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Demonstrators for fail-operational SAE Level 3+ ADFs in urban environments</li> </ul>
<b>Objective 5: Competitive advantage for European industry</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increasing market share and revenue of European companies through PRYSTINE's groundbreaking technological advancements (O1-O4)</li> </ul>
<b>Objective 6: Increased user acceptance of automated driving functions</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Increasing user acceptance of automated driving functions through PRYSTINE's groundbreaking technological advancements (O1-O4)</li> </ul>

## 2.2 Beiträge und Zielsetzung von EPOS

Das Teilprojekt von EPOS hatte die Erforschung von Halbleiterkomponenten in Richtung robuster und fehlertoleranter Designs zum Ziel. Die Aktivitäten von EPOS waren in erster Linie die Entwicklung neuartiger CMOS-basierter Radar-Sensoren einschließlich Empfänger, Sender und Signalverarbeitungskomponenten. Die CMOS-Radarsensoren repräsentieren einen wesentlichen Baustein der PRYSTINE FUSION-Plattform. Entsprechend eng war die Zusammenarbeit mit den Partnern in Supply Chain 1 und 2.

Die Arbeiten von EPOS adressierten in erster Linie die Supply Chain SC1 'Components LIDAR, RADAR and Safety Con-trollers for FUSION', und zusätzlich auch Arbeiten für SC2 'High Performance Embedded Control and Intelligence for FUSION'. Die Supply Chains erarbeiten wichtige Demonstratoren zum Nachweis der übergeordneten Projektziele. Beim Entwurf eines Radar Sensors lag der besondere Aspekt auf der Fehlersicherheit. Das fehlersichere Design erfordert, dass alle Anforderungen exakt heruntergebrochen, und in der gesamten Entwicklung, also Konzept, Design, Verifikation, Implementierung und Validierung, systematisch verifiziert werden. Hierfür wurde Requirement Driven Design Flow (RDDF) bei der Entwicklung der Komponenten umgesetzt.

Im Rahmen des Vorhabens wurden auch fehlertolerante Architekturen der Kontrolleinheiten erforscht. Die Fehlersicherheit wurde über redundante Hardware-Strukturen oder über Hardware/Software Monitor Konzepte gewährleistet. Das entworfene System Level Design muss durch geeignete Verifikation schon zu Beginn geprüft werden, um Konzeptfehler

frühzeitig zu erkennen. Die Architekturen wurden entworfen und mit Hilfe von Simulationsmodellen überprüft.

Für Test und Validierung wird das Sensor System mit automatisierten Testsystemen für Statistikmessungen und mit Analyse Boards für Einzelmessungen auf korrekte Funktion geprüft. Es wurden die zu Beginn definierten Anforderungen und alle Funktionen des Radar Sensors und alle seine Unterkomponenten im Labor überprüft und dokumentiert.

Als Projektziel Umsetzung wurde von EPOS eine Digital Core Architecture (DCA) entwickelt und in einen Radarsensor integriert. Das DCA unterstützt hardwaremäßig das fail-operational Verhalten des gesamten Radarchips. Zukünftig ist eine hohe Integration von Radarsensor und Signalverarbeitungseinheit in CMOS-Technologie geplant. Die hohe Integration in CMOS bringt viele Herausforderungen mit sich: unbekannte Technologieprobleme, Leistung von Sensorkomponenten sowie Rauscheffekte digitaler Komponenten. Da sich der Markt für autonomes Fahren in der Entwicklungsphase befindet, sind die Trends und die Lieferkette noch nicht klar. Hier war es im Rahmen des Projekts wichtig, die Systemanforderungen der OEMs und TIER1-Zulieferer zu verstehen, um auch in Zukunft die richtigen Komponenten liefern zu können.

## **2.3 Wissenschaftlich-technischer Stand bei Projektstart**

PRYSTINE baut auf einer Reihe von bereits abgeschlossenen und laufenden nationalen sowie europäischen Forschungsprojekten auf, bündelt deren Erkenntnisse und generiert daraus neue Ergebnisse für die Entwicklung von fehlertoleranten, automatisierten Fahrfunktionen. EPOS Kernkompetenz ist hier die Weiterentwicklung von fehlertoleranten Hardwarekomponenten und Designprozessen.

## **2.4 Zusammenarbeit mit Partnern**

EPOS arbeitet hier eng mit Infineon zusammen, und konnte hierbei auf vorhandene Kenntnisse und Lösungen aus vorgelagerten Entwicklungen älterer Generation mit allen relevanten Partnern der Industrie (OEMs, TIER1) zurückgreifen. Es bestand hierbei aber eine klare Trennung der Inhalte und der Arbeiten an weiteren neuartigen Lösungskonzepten und Realisierungen.

Durch die im Vorhaben mögliche Zusammenarbeit entstanden neue Perspektiven der technischen Realisierung und Verwertungsmöglichkeiten im Rahmen einer anschließenden Entwicklung zu Serienreife.

### 3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das Projekt wurde anhand eines Development Life Cycles entlang von Supply Chains (SC1 bis SC10) in Use Cases abgearbeitet. Die Arbeiten wurden hierbei in den einzelnen Arbeitspaketen (WP1 bis WP8) gemäß der Teilvorhabenbeschreibungen geplant und erbracht. Abbildung 3 zeigt die Matrixstruktur der WPs vs SCs.

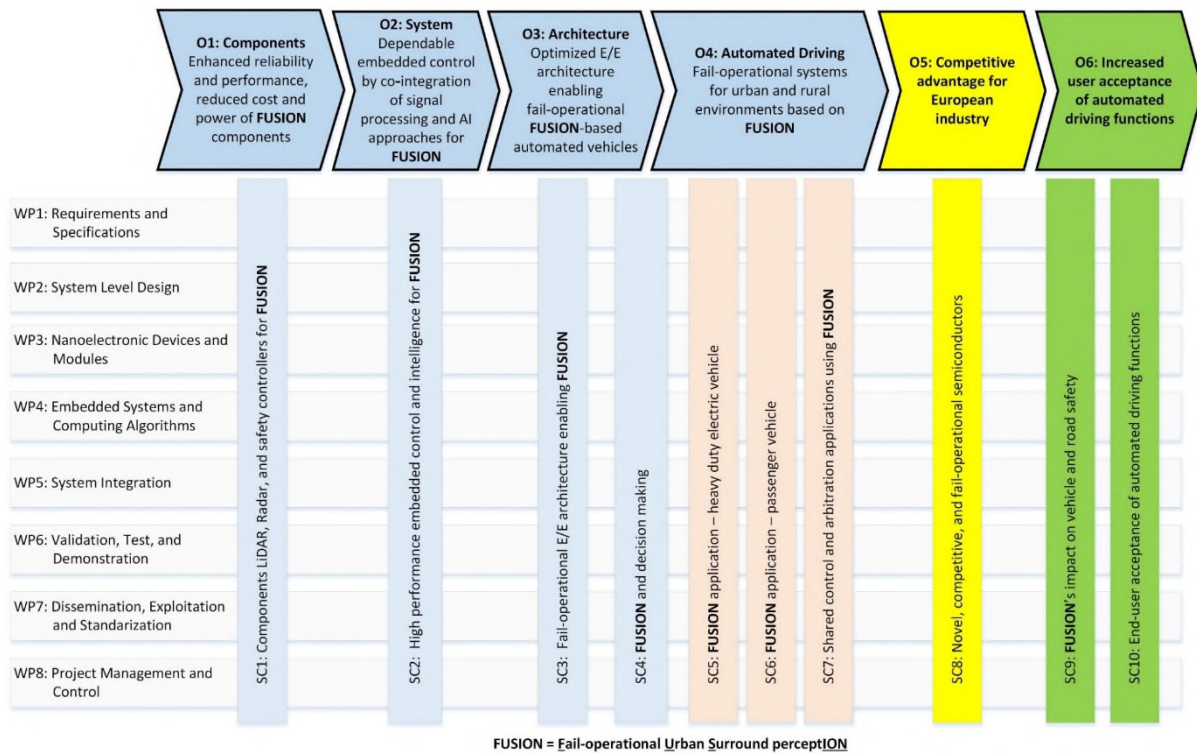


Abbildung 3: PRYSTINE's Matrixstruktur – Arbeitspakete versus Supply Chains

Änderungen, die im Lauf der Projektlaufzeit in der Abarbeitung entstanden sind, wurden hierbei mit dem Projektträger und den Gutachtern auf Europäischer Ebene abgestimmt und schlussendlich zum Erfolg geführt.

#### 3.1 AP1 Anforderungen und Spezifikation

In diesem Arbeitspaket wurden die von den OEMs gesteuerten Systemanforderungen schrittweise in Spezifikationen für Subsysteme umgewandelt.

Der Schwerpunkt der Arbeiten des ersten Projektjahres lag auf Anforderungen und Spezifikationen des Radarsensors und der Hardware Modul Entwicklung. Die funktionalen und leistungsbezogenen Anforderungen für die digitalen Radar Sensor Komponente (DCA, Digitale Control Architektur) wurden zusammen mit Infineon und DICE aufgestellt.



Die Anforderungen und Anwendungsannahmen wurden auf Produktebene für Sicherheits- und Nicht-Sicherheitsanwendungsfälle berücksichtigt. Die Ergebnisse flossen in Pristine delivery „D1.1 Report on fail operational sensor components“ ein.

Abbildung 4 zeigt den Anforderungs- und Dokumentationsfluss, der für den DCA definiert wurde.

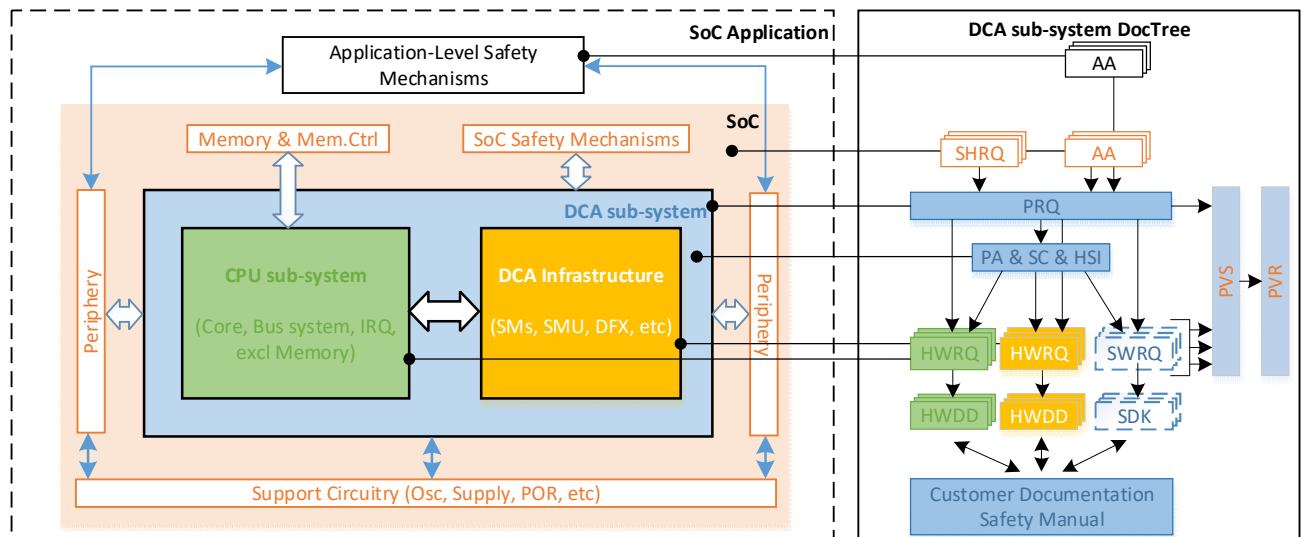


Abbildung 4: Requirement Dokumentationsflow für DCA

Insgesamt wurden mehr als 100 Anforderungen für die digitale Steuereinheit gesammelt und in Untereinheiten strukturiert. Zusätzlich wurden Anforderungen und Anwendungsannahmen auf Produktebene für Sicherheits- und Nicht-Sicherheitsanwendungsfälle berücksichtigt.

### 3.2 AP2 System Level Design und Simulationsanalyse

Ziel dieses Arbeitspakets bestand darin, ein umfassendes und tiefgehendes quantitatives Verständnis der Subsysteme zu entwickeln, welche mittels Modellierung und Simulation auf verschiedenen Ebenen in automatisierte Autos integriert werden sollen.

#### System zur Analyse der Signalverarbeitung

Zur Analyse der Leistungsanforderungen an die Signalverarbeitungseinheit, wurde ein System mit Radar Sensor und dem Infineon Safety Controller aufgebaut, und der Direction of Arrival Algorithmus (DoA) analysiert. Es wurden verschiedene Algorithmen (Bartlett, Capon, MUSIC, ESPRIT) auf dem Infineon Controller umgesetzt und bezüglich Hardwarebeschleunigung bewertet. Die Arbeiten wurden auf der IRS2019 conference veröffentlicht (Juni 2019)

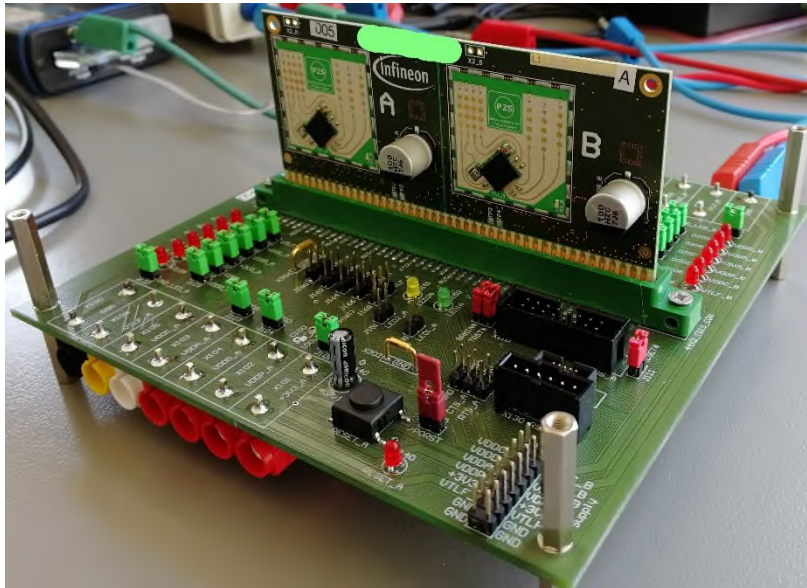


Abbildung 5: Analyse Baord Radar Sensor mit Infineon Controller

### **Systemanalyse Radar Sensor und Kontrollogik für Funktional Safety**

Der Kern eines Radar-MMIC besteht aus einem Sende- (TX) und einem Empfangs-Pfad (RX-) Pfad, wie in der folgenden Abbildung 6 dargestellt. Im TX-Pfad wird das HF-Signal (77 GHz) erzeugt, verstärkt und über eine TX-Antenne übertragen. Die Signalreflexionen von den Objekten werden von einer Empfangsantenne empfangen. Das empfangene Signal wird mit einem rauscharmen Verstärker (LNA) verstärkt, bevor es mit dem momentanen Sendesignal gemischt und anschließend gefiltert wird. Dies ergibt das sogenannte Zwischenfrequenz- (IF) oder Basisbandsignal, das mit einem Analog-Digital-Wandler (ADC) abgetastet und im Digital-Frontend (DFE) weiterverarbeitet wird. Die DFE-Ausgangsdaten werden über eine Hochgeschwindigkeitsdatenschnittstelle (LVDS oder CSI-2) zur weiteren Signalverarbeitung und Objekterkennung an den externen Mikrocontroller übertragen.

Neben den Signalpfaden selbst ist eine Steuerung innerhalb eines Radar-MMIC erforderlich, um eine zeitgenaue Steuerung der TX- und RX-Kette durchzuführen. Dieser Controller ist auch dafür verantwortlich, alle Befehle von einem externen Mikrocontroller an das MMIC über SPI zu verarbeiten. Ferner ist eine Versorgungs- und Takterzeugungseinheit für den Betrieb des MMIC erforderlich.

Das MMIC und die gesamte Architekturbeschreibung sind somit in die folgenden Subsysteme unterteilt (wie auch im vereinfachten Architekturblockdiagramm unten gezeigt):

- Sender (TX)
- Empfänger (RX)
- Kontrollogik

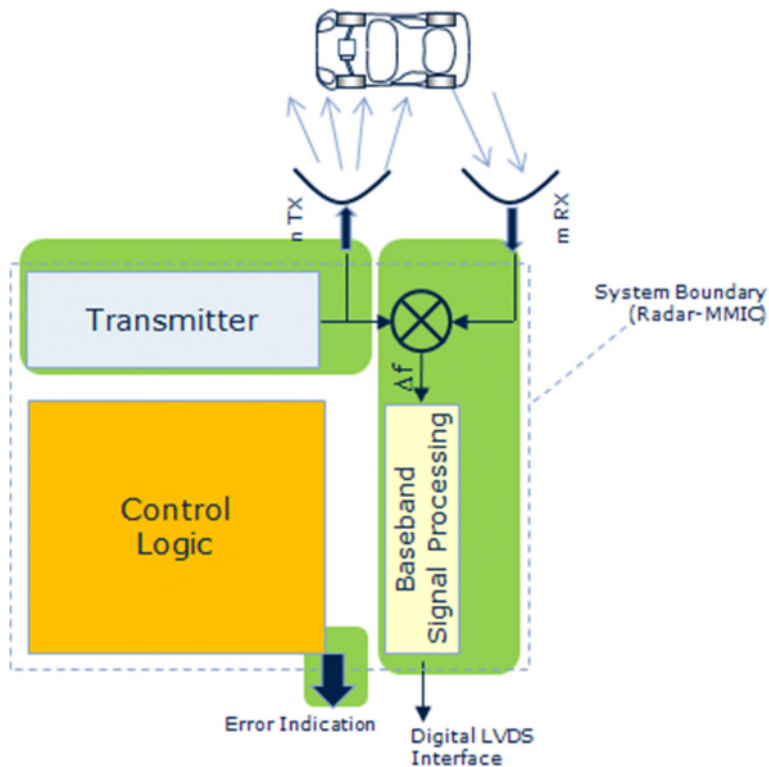


Abbildung 6: MMIC Radar Sensor mit integrierter Kontrollogik

### 3.3 AP3 Hardware-Modul Entwicklung

Ziel dieses Arbeitspaketes war die Entwicklung von Halbleiterlösungen, die in automatisierte Systeme integriert werden können mit dem Ziel, fehlersichere Eigenschaften bereitzustellen, Kosten zu reduzieren und die Funktionalität zu erhöhen.

Im Arbeitspaket 3 konnten die Arbeiten gemäß der Planung vorangetrieben und schlussendlich etwas verzögert im Berichtszeitraum 2020 abgeschlossen werden.

In den verschiedenen Tasks wurden die notwendigen Arbeiten für die Festlegung des funktionalen Systementwurfs fortgeführt und zur Integration in Arbeitspaket 5 überführt.

Der Schwerpunkt im Arbeitspaket 3 (Hardware-Modul Entwicklung) lag auf Konzept, Design und Verifikation des Digital Control Architektur (DCA).

Die Digital Core Architecture (DCA) wird als sicherheitsrelevantes IP betrachtet, das als „Safety Element out of Context“ (SEooC) entwickelt wurde. Sicherheitsanforderungen basieren hier auf Annahmen von Anwendungsfällen, die vom Modul-Integrator überprüft werden. Das DCA-Modul verfügt über integrierte Sicherheitsmechanismen zur Erkennung interner und externer Fehlermodi (siehe Abbildung 7):

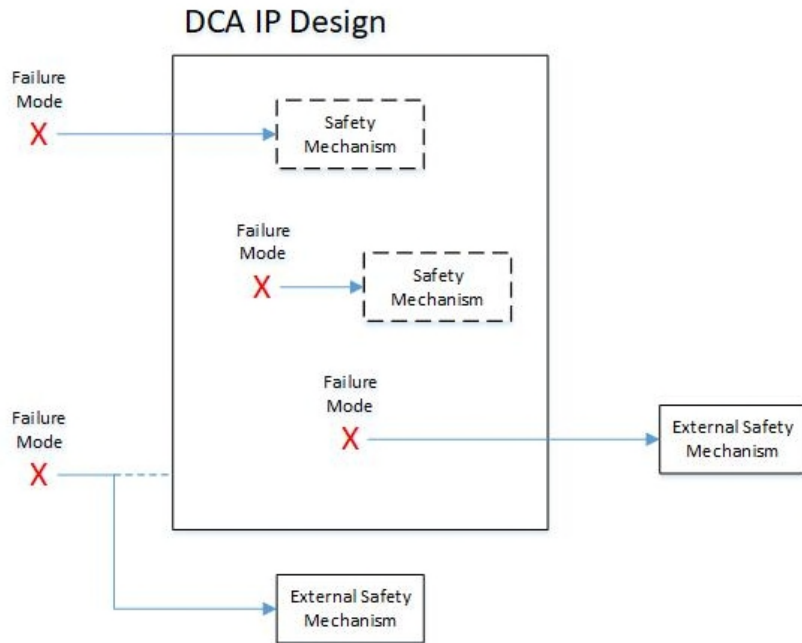


Abbildung 7: DCA IP Safety Konzept

Während der DCA Modulentwicklung wurden auch „Assumption of Use“ (AoU) erstellt, damit der Modul-Integrator die Übereinstimmung mit den Sicherheitsanforderungen überprüfen kann. Diese AoUs definieren externe Sicherheitsmechanismen, um interne und externe Fehlermodi zu erkennen, die nicht vom DCA behandelt werden, aber dessen Funktionalität beeinträchtigen können.

Das DCA-Modul übernimmt alle Aufgaben zur Steuerung des Anwendungssystems, die als „Housekeeping“ bezeichnet werden. Diese Funktionen umfassen:

- Energiesparsteuerung, Takt- und Rücksetzsteuerung sowie Interruptsteuerung
- Test- und Debug-Funktionen
- Funktionen, die für den Benutzer größtenteils transparent sind und einen stabilen und sicheren Betrieb des Systems gewährleisten
- CRC-Engine für Benutzeranwendungen

Die Hauptidee eines DCA-Modul-Konzepts besteht darin, Sicherheitsmanagementfunktionen von der Anwendungsdatenverarbeitungs-CPU zu entfernen und sie an eine dedizierte Housekeeping-Hardware-Einheit zu delegieren. Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, kann die Verarbeitung von Sicherheitsalarmen die Anwendungsdatenverarbeitungs-CPU umgehen, da diese vom DCA behandelt wird. Es besteht aber weiterhin die Möglichkeit, Sicherheitsalarme von der Anwendungsdatenverarbeitungs-CPU behandeln zu lassen.

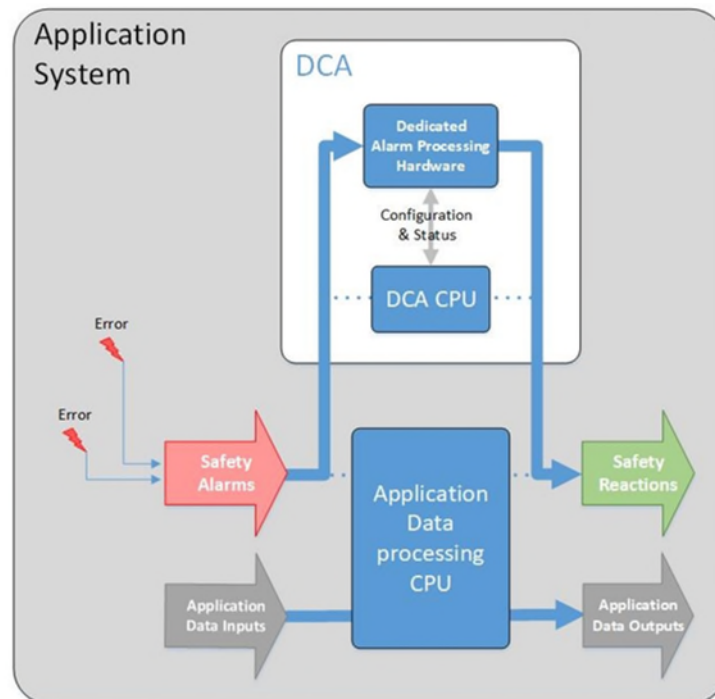


Abb. 8 : DCA Verarbeitung von Sicherheitsalarmen

Darüber hinaus enthält das DCA-Modul spezielle Hardware für die Alarmverarbeitung, die sogar eine DCA-CPU-Bypass-Spur für eine schnellere Sicherheitsreaktionszeit bietet.

Die DCA-Sicherheitsarchitektur unterstützt die Erfüllung der DCA-Sicherheitsanforderungen auf höchster Ebene, indem die folgenden Hardware-Architektur bereitgestellt werden.

- BUS-Protection
- Memory-Protection
- Register-Protection
- Aspekte der CPU\_Sub-Integration und Fehlerbehandlung
- Vermeidung latenter Fehler
- Fehlererkennung und -minderung bei bekannten Themen
- Systematische Fehlervermeidung

### 3.4 AP4 Eingebettete Systeme und Computing

EPOS ist an dem Arbeitspaket 4 nicht beteiligt.

### 3.5 AP5 System Integration

Der Schwerpunkt vom Arbeitspaket 5 (Systemintegration) lag in der Einbindung des DCA-Moduls im Control Subsystem (CSS) des Radar Sensors. Der Aufwand für WP5 war höher als ursprünglich geplant, weil zusätzlich Arbeiten von WP3 in WP5 geschoben wurden. Der höhere Aufwand für WP5 war kostenneutral für das Projekt.

Das CSS (siehe Abbildung 9) integriert das DCA, zusammen mit Speichermodulen, und andere Interface Modulen, die für die Kommunikation des Radar Sensors zur Außenwelt notwendig sind. Das CSS unterstützt verschiedene FuSa-Ziele (Functional Safety) von QM bis ASIL D (Level nach ISO26262). Es werden auch ECC und/oder Parität auf System- und Speicherbussen sowie ECC und/oder Parität für SRAMs unterstützt. Die Speicher und die damit verbundenen Funktionen wie ECC und MBIST sind Bestandteil des CSS.

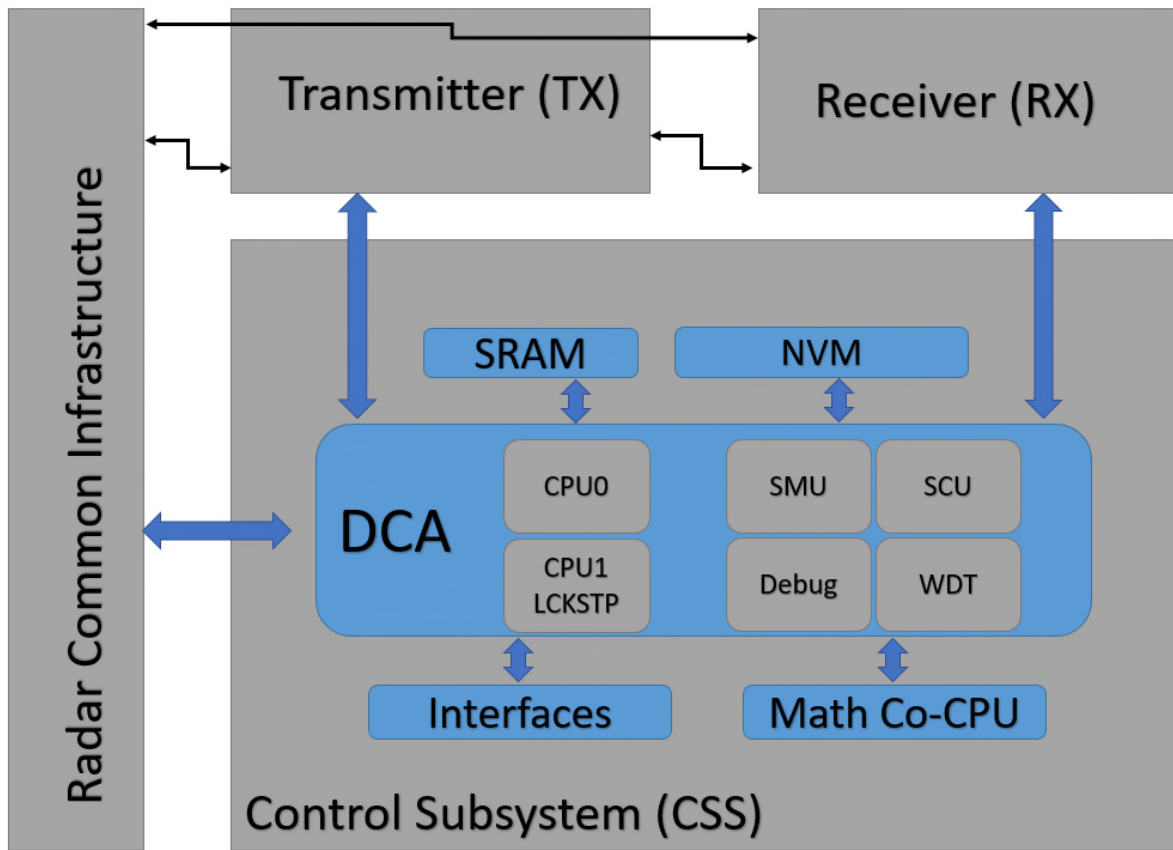


Abbildung 9: Integration des DCAs in CSS des Radar Sensor.

Das DCA-Modul bietet eine Plattform, um die Integration einer Steuerungsarchitektur in einen SoC (System-on-Chip) zu vereinfachen. Für die Projektarbeit für Radar Sensor wurde die Synopsys ARC-EM22FS CPU verwendet, weil diese aktuell die einfachste Implementierung für die fail-safe Funktionen unterstützt. Das DCA wurde aber so entworfen, daß es auch andere CPU Typen (z.B. ARM M0+) unterstützen kann. Die CPU selbst ist in einem Modul CPU-Sub isoliert und dieses Modul hat eine Entity, die nicht geändert wird, wenn die CPU ausgetauscht wird.

Die Implementierung des DCA im SoC-Kontext mit den umgebenden Peripheriegeräten, Speichern und anderen Schnittstellen ist in Abbildung 10 dargestellt.

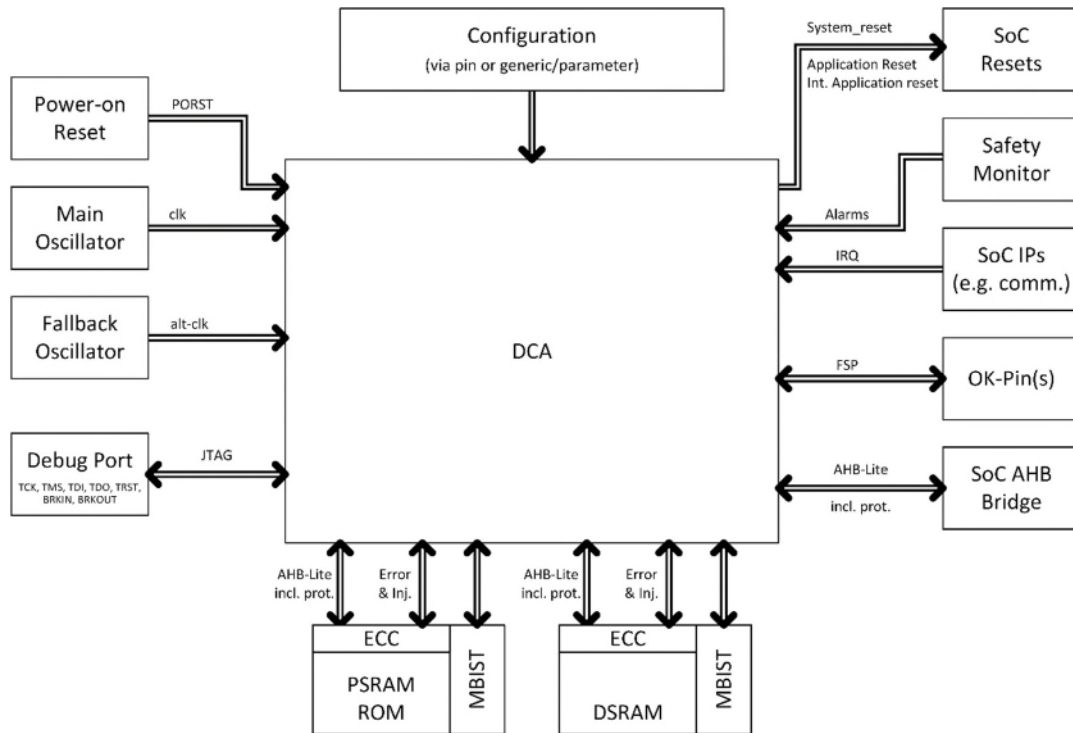


Abbildung 10: DCA Interfaces for MMIC integration

### 3.6 AP6 Validierung, Test und Demonstration

Das Arbeitspaket 6 konzentriert sich auf die Verifizierung und Validierung der entworfenen Lösungen. Während der Integration (WP5) wurde festgestellt, dass zusätzliche Arbeit in WP6 (Validierung) erforderlich ist. Der höhere Aufwand für WP6 war kostenneutral für das Projekt.

#### High Resolution Radar Demonstrator:

Zusammen mit DICE wurde der High Resolution Radar (HRR) Demonstrator entwickelt. Der HRR Demonstrators zeigt die Robustheit des Systems, bei Ausfall eines Cluster ausfällt: das System arbeitet weiter, nur mit einer geringeren Auflösung.

Abbildung 11 zeigt das Konzept des Demonstrator. Im Normalbetrieb werden alle Komponenten betrieben und das Radarsystem erzeugt mit 5 MMICs die höchstmögliche Auflösung. Wenn Cluster B ausfällt, arbeitet das Radarsystem nur mit Cluster A, wobei 2 MMICs und 1 MCU betrieben werden. Wenn Cluster A ausfällt, das Master-MMIC jedoch weiterhin funktioniert, arbeitet das Radarsystem nur mit Cluster B mit 2 MMICs und 1 MCU. Wenn das Master-MMIC ausfällt, arbeitet das Radarsystem nur mit 1 MMIC.

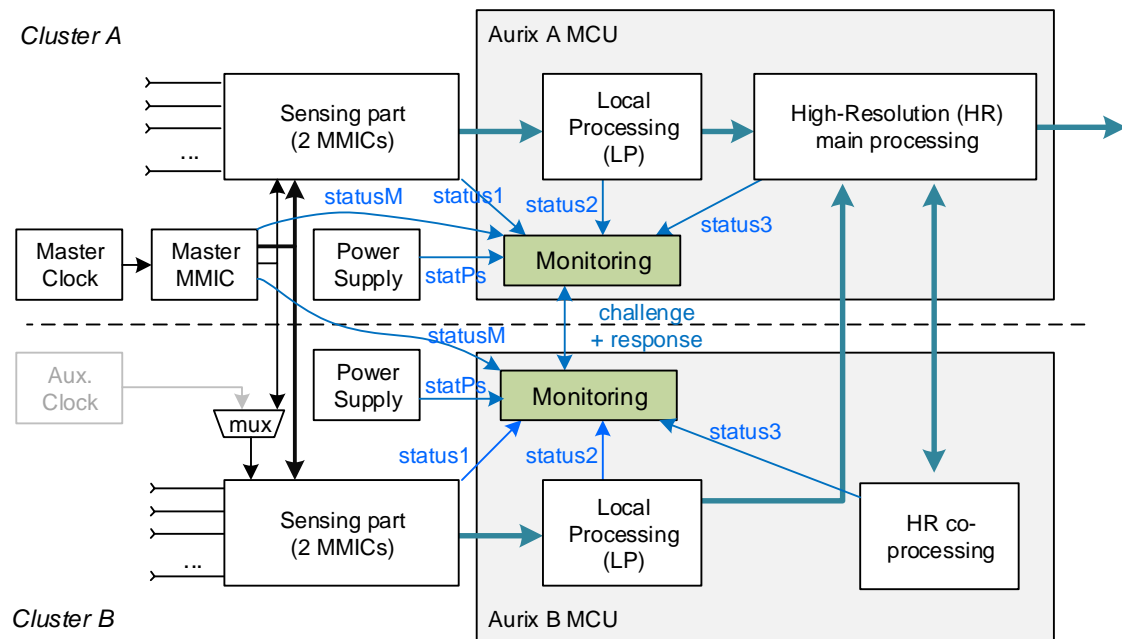


Abbildung 11: Demonstrator im Normalbetrieb.

### Funktionales System für Validierung- Intelligentes Reliability Meßsystem

Es wurde ein Meß-System für Zuverlässigkeitsmessungen des Radar Systems mit Safety Controller und dem Radar Sensor aufgebaut. Das System erlaubt Serienmessungen, mit deren Hilfe die für die Erstellung von Statistiken benötigten Daten generiert werden. In einem kleinen Test Ofen können bis zu 5 Motherboards mit jeweils 40 Single MMIC System aufgebaut werden. Mit dem System können auch Testprogramm-Sequenzen getestet werden. Abbildung 12 zeigt das Test System MMICs für Statistikmessungen.



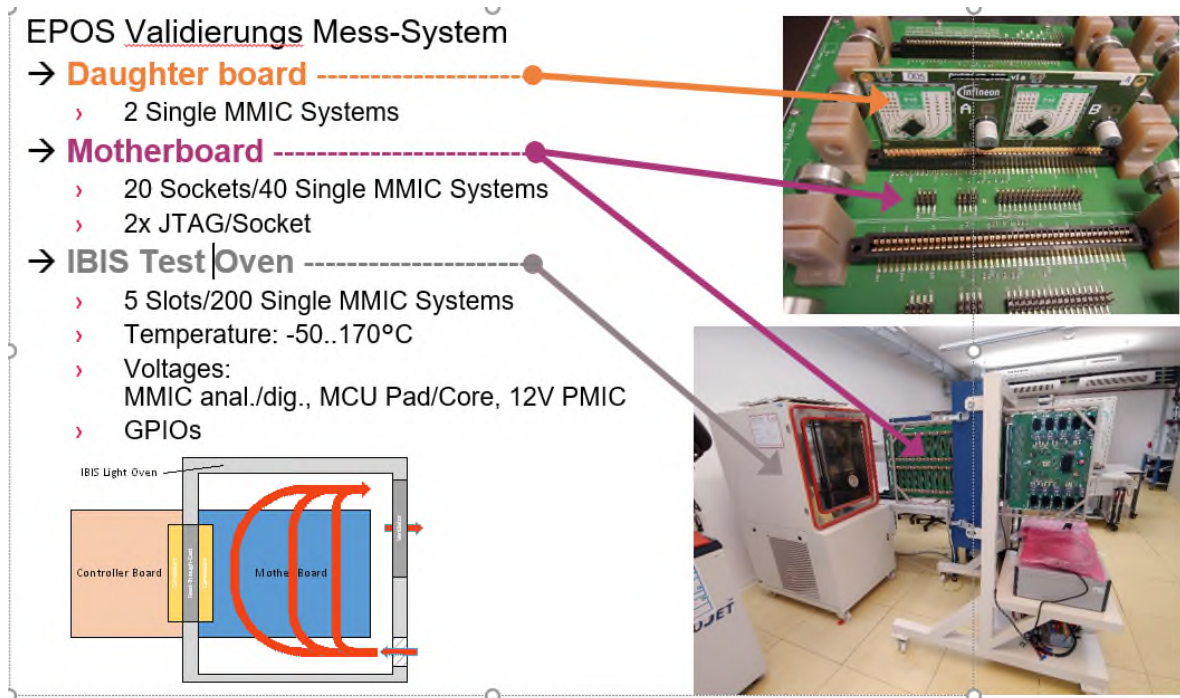


Abbildung 12: Meß-System für MMICs

### Einfach Single Meß-Board

Abbildung 13 zeigt einen Einzel Meß-Board für MMIC für einfache Validierungszwecke für

- Leistungsverbrauch
- Strom/Last Sprünge
- Oscilloscope Messungen



Abbildung 13: Single Meß-Board für MMIC

### **3.7 AP7 Verbreitung, Ausbeutung und Standardisierung**

EPOS ist an dem Arbeitspaket 7 nicht beteiligt.

### **3.8 AP8 Project Management und Controlling**

EPOS ist an dem Arbeitspaket 8 nicht beteiligt.

## **4 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse**

Parallel mit dem verzögerten Abschluss des Vorhabens konnten alle Ergebnisse in gemeinsamen Veröffentlichungen, sowie Ankündigungen für ein zukünftiges Produkt, vorgestellt werden. Eine allgemeine Verfügbarkeit der untersuchten Lösungen ist hier für das Jahr 2024 anvisiert.

Die Ergebnisse sind auf der Projekthomepage weiterhin verfügbar und werden auch weiterhin durch Veröffentlichungen im Bereich der Social Media (LinkedIn, Youtube, Peer-Reviewed Papers) sichtbar gehalten.

## **5 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten**

Es wurden insgesamt Arbeiten in einem Umfang von 273 Personenmonaten (a 144 Std) erbracht. Hierzu wurden weitere Eigenmittel eingesetzt.

Im weiteren Verlauf des Vorhabens zeigte sich die Notwendigkeit, geplante Mittel und Kosten aus arbeitstechnischem Grund und durch Verzögerungen im Projektablauf, die durch technische Probleme der Realisierung und im Rahmen der CoViD-19 Pandemie entstanden sind, umzuwidmen. Die ursprünglich in der TVB anvisierten Tätigkeiten wurden jedoch dadurch abgedeckt und ergänzt.

## **6 Verwertungsplan und Erfolgsaussichten**

### **6.1 Wirtschaftliche Verwertbarkeit der Ergebnisse**

EPOS ist Tochterunternehmen und Entwicklungsstandort der Infineon Technologies AG mit ca. 50 Mitarbeitern (Stand 2021), und entwickelt zusammen mit Infineon Technologies Radarsensoren für den Automobilmarkt. Neue Radar-Sensoren mit fehlersicherem Verhalten

in einer modernen CMOS Technologie werden als Komponente für den zukünftigen Markt für autonomes Fahren benötigt. Daher ist PRYSTINE für EPOS von großer strategischer Bedeutung. Die Ergebnisse des Vorhabens ermöglichen EPOS, durch neuartige hochzuverlässige und fehlertolerante Komponenten das automatische Fahren entscheidend zu verbessern und trotz signifikant verbesserter Leistungsverhalten gleichzeitig die Automobilkomponentenkosten zu reduzieren. Dies führt nicht zuletzt zu einem Wettbewerbsvorteil durch Einsatz von mehr halbleiterbasierten Systemen in Fahrzeugen.

Durch das Projekt gewinnt EPOS das Know How im Bereich Fehlersicherheit von Sensorkomponenten. Damit könnte EPOS weitere fehlersichere Sensoren, oder sogar komplette fehlersichere Sensorsysteme selbstständig entwickeln, und für zukünftige Produkte nutzen.

Die Zusammenarbeit mit anderen Partnern im Konsortium ermöglicht EPOS den Aufbau des Gesamtsystemverständnis, wodurch EPOS zum Produkt auch Systemlösungen am Markt anbieten könnte.

Um weltweit erfolgreich bleiben zu können, müssen die Themen zuverlässige Umfeldwahrnehmung und Situationsinterpretation, leistungsfähige Rechenplattformen, Künstliche Intelligenz und fehlertolerantes Verhalten eine gemeinsame Verbindung aufzeigen, um die Fahrzeuge der nächsten automatisierten Generation (Level 4-5) zu bauen. Insbesondere sieht EPOS hier die Chance zusammen mit Infineon, seine neue Strategie „Product to System“ mit dem Thema Qualität zu verbinden.

Die wirtschaftlichen Erfolgsaussichten der Projektergebnisse sind sehr gut. EPOS wird die Projektergebnisse von Prystine schwerpunktmäßig im Bereich Radar Sensoren und – Systeme mit Central Computing Units für Anwendungen im Bereich zukünftiger Sicherheitsplattformen des autonomen Fahrens umsetzen.

EPOS Mutterkonzern Infineon erwartet im Bereich automotiver Radarsensorik in den nächsten Jahren weiterhin ein für die Mikroelektronik weit überdurchschnittliches Marktwachstum mit jährlichen Wachstumsraten zwischen 30 und 40%.

Die Verwertung der in PRYSTINE erzeugten Forschungsergebnisse wird überwiegend in Europa stattfinden. Die Entwicklung der Chip- und Modultechnologie erfolgt an den Infineon Standorten München (Chip-Entwicklung), Regensburg (Package-Entwicklung und -Fertigung) und Dresden (Technologieentwicklung). Die Kommerzialisierung findet weltweit über den etablierten Vertriebskanal, unterstützt von Applikationsingenieuren, statt.

EPOS rechnet bei der Verwertung der Ergebnisse von Prystine weiterhin mit folgendem Szenario:

Stufe 1 (Forschungsphase, PRYSTINE, 3 Jahre):

Während der Projektlaufzeit findet die Verwertung der Forschungsarbeiten auf konzeptioneller-, Technologie- und Device/Schaltungsebene statt.

Stufe 2 (Prototypen-/Produktentwicklung, +2 Jahre nach Abschluss von PRYSTINE):

Nach Abschluss der Projektlaufzeit ist, je nach Qualität der Projektergebnisse, eine erste konkrete Prototypen-Produktentwicklung geplant, die in einer endgültigen Produktrealisierung münden soll. An der der Entwicklung der Einzelkomponenten und Module würde am Standort EPOS erfolgen.

Stufe 3 (Volumenfertigung, +4 Jahre nach Abschluss von PRYSTINE):

Ca. 4 Jahre nach Projektende könnten im Erfolgsfall und bei entsprechender Auftragslage die Projektergebnisse von Prystine in die Volumenfertigung von Mutterkonzern Infineon eingehen.

## **6.2 Wissenschaftlicher Fortschritt durch die Ergebnisse**

Das PRYSTINE-Konsortium wird auch nach dem Projektabschluss eine Quelle für eine gut ausgerichtete übergreifende Zusammenarbeit bleiben. Sowohl EPOS als auch die Partner konnten im Rahmen des Vorhabens Prystine ein viel besseres Verständnis von den Anforderungen und Lösungen in den 10 verschiedenen Supply Chains erhalten. Die mit dem Projekt PRYSTINE erzielten Ergebnisse werden die Position von EPOS als Entwicklungszentrum stärken und zu einem nachhaltigen Wachstum beitragen. Zudem erlaubte die Teilnahme und Mitarbeit an der in Supply Chains organisierten Struktur innerhalb von PRYSTINE eine Erweiterung von EPOS System-Knowhow und dem Erzielen der in den Arbeitspaketen erreichten Innovationen.

EPOS konnte trotz der teilweise auch realisierten Risiken mit einer staatlichen Anteilfinanzierung die geplanten Forschungsarbeiten, mit den dargestellten Aufwänden und in einem um 6 Monate verlängerten Zeitraum, erfolgreich abschließen.

## **6.3 Wissenschaftliche-und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit der Ergebnisse**

Das Vorhaben PRYSTINE bot die Möglichkeit, neue innovative Lösungen für zukünftige Produkte für das automatisierte Fahren zu schaffen. Langfristig wird EPOS mit den Partnern des PYSTINE-Konsortiums zur Festigung der Innovations-Roadmaps zusammenarbeiten.

Die breite und fachübergreifende Aufstellung des deutschen PRYSTINE-Sub-Konsortiums mit exzellenten Industriepartnern, die durch namhafte Lehrstühle und Institute unterstützt wurden, konnte in hervorragender Weise sicherstellen, dass alle relevanten Aspekte entlang der Wertschöpfungskette berücksichtigt wurden. Durch die Zusammenarbeit im

Gesamtkonsortium konnten industriell anwendbare Lösungen als Projektergebnis erzielt werden.

Die Schwerpunkte der PRYSTINE Verwertung liegen in der sicheren und zuverlässigen, fehlertoleranten Rundum-Umgebungserfassung. Diese bildet die Basis für die Ermöglichung automatisierter Fahrfunktionen in wenig strukturierter Umgebung, z.B. im urbanen Umfeld oder auf Landstraßen. Die deutschen Projektpartner bilden für sich, sowie gemeinsam mit dem Gesamtkonsortium, die gesamte Wertschöpfungskette ab, die zur Umsetzung in Produkte am Standort Deutschland notwendig ist. Zudem ist die Nachhaltigkeit der im Projekt erarbeiteten Ergebnisse durch die im Projekt vorhandenen erstklassigen Forschungsinstitute und Dienstleister für die Aus- und Weiterbildung junger Ingenieurinnen und Ingenieure gesichert.

Die zu bearbeitenden Themen werden auf hohes Interesse auf Seiten des wissenschaftlichen Nachwuchses treffen. Hieraus entsteht ein bedeutender wirtschaftlicher Standortvorteil für Deutschland, und die verbundene Öffentlichkeitsarbeit sorgt für Ingenieurwachstum.

Insgesamt verfügt PRYSTINE damit über ein erhebliches Potential zur wissenschaftlichen und wirtschaftlichen Anschlussfähigkeit. Partnerspezifisch kann EPOS im Erfolgsfall erheblich von den Erkenntnissen und Ergebnissen aus dem Projekt profitieren. Dies betrifft einerseits die Verwertung der Projektergebnisse für eine konkrete Prototypenentwicklung nach Projektende, andererseits die Verwertung sämtlicher im Projekt erworbenen technisch-wissenschaftlichen Erkenntnisse über z.B. Architekturen, Algorithmen etc. Diese Erkenntnisse und Erfahrungen werden über das Projekt hinaus die Basis für künftige Methoden-, Prozesse- und Technologie-Entwicklungen und Forschungen legen und im Bereich der universitären Forschung den Weg für weitere Forschungen ebnen.

## **7 Wichtigste Positionen des Zahlenmäßigen Nachweises**

Abgeleitet von der ursprünglich beantragten Zuwendung, sowie dem zahlenmäßigen Nachweis, sind die Personalkosten der mit Abstand größte Posten für das im Vorhaben Prystine von der EPOS beschäftigte Personal. Es handelt sich dabei um reine Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und keine Verwaltungsaufwendungen, die gemäß den Richtlinien und dem Zuwendungsbescheid nicht in der Berechnung berücksichtigt wurden, da sie nicht förderfähig sind.

Der ursprüngliche Kostenblock an Materialien wurde jedoch nicht komplett ausgeschöpft, da die geplanten teuren Probecards nicht angeschafft werden mussten. Statistik Messungen wurden auf Parallel-Boards durchgeführt, so wurde statt auf Wafer Ebene auf Baustein Ebene getestet. Dies hatte keine negativen Auswirkungen auf die Aufgabenstellung.