



Verbundvorhaben

Marktanalyse und Definition der Spezifikationen: Teilvorhaben in AVIRO3

Schlussbericht Teil I und II des Teilvorhabens der Jena-Optronik GmbH

Version 1.0

Dr. Heiko Wolfram

Jena-Optronik GmbH (JOP)

ZE: Jena-Optronik GmbH

Förderkennzeichen: 50RA2210B

Vorhabenbezeichnung: AVIRO3 – Vorstudie zur Weiterentwicklung der universelle Multi-Sensor Fusion auf einer Embedded Hardware Plattform zur Produktreife

Teilvorhaben: Marktanalyse und Definition der Spezifikationen

Laufzeit des Vorhabens: 01.11.2022 – 30.04.2024

INFORMATIONEN ZUR EXPORTKONTROLLE (EXPORT CONTROL INFORMATION)

This document contains EU or/and US Export Controlled technology (data):

YES NO

If No:

This document has been assessed against all applicable export control regulations and is “**Not Listed**”.

If Yes, please complete the following as applicable:

1/ National Military / Dual-use export controlled content (other than US)

Country/countries of origin for technology contained in this document:

Germany other: [specify country]

- This document contains technology which is controlled by military export control regulation, classification [e.g. MLXXX / AMAXX]. Transmission abroad requires an export licence.
- This document contains technology, which is controlled by national dual-use regulation, classification [XEXX], or by European Union dual-use regulation 2021/821 Annex IV as amended, classification [XEXX]. Transmission abroad requires an export licence.
- This document contains technology, which is controlled by European Union dual-use regulation 2021/821 Annex I as amended, classification [XEXX]. Transmission within the EU does not require an export licence. Export from the EU requires an export licence.

2/ US (ITAR / EAR) export controlled content

- This document contains technology which is controlled by the U.S. government under [USML category number / ECCN] and which has been received by [legal entity] under authority of [licence number / ITAR exemption / EAR licence exception / NLR]. Any re-export or re-transfer of this document in part or in whole must be made in accordance with the appropriate regulation (ITAR/EAR) and authorization (e.g. DSP 5, TAA, ITAR exemption, BIS licence or licence exception, NLR).
- This document contains technology, which is designated as EAR99 (subject to EAR and not listed on the CCL)

Dokumentänderungen

Versi on	Datum	Änderungen	Kapitel/ Seite
1	16.07.2024	Finale Version	Alle

Inhaltsverzeichnis

Informationen zur Exportkontrolle (Export Control Information)	2
Dokumentänderungen	3
Inhaltsverzeichnis	4
Abbildungsverzeichnis	5
I. Kurze Darstellung	6
I.1 Aufgabenstellung AVIRO3-RiSH	6
I.2 Voraussetzungen, während der Durchführung	7
I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens	8
I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde	8
I.4.1 Sensorfusion	8
I.4.2 Spezialhardware (FPGA) zur beschleunigten Berechnung	9
I.4.3 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste	9
I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	9
II. Eingehende Darstellung	11
II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele	11
II.1.1 Überblick	11
II.1.2 AP-1100: Hardwarevorschlag	11
Ergebnisse:	11
II.1.3 AP-2120: Beratungsleistung zum Sensorfusion Programmcode-Review (Schwerpunkt Space-Qualifizierung)	12
Ergebnisse:	12
II.1.4 AP-2110: Definition Output-Schnittstellen	12
Ergebnisse:	13
II.1.5 AP-3100: Teilbereich Konzeptuelles Design	13
II.1.6 AP-5100: Erstellung eines Entwicklungsplans	14
II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	15
II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	15
II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans	16
II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen	17
II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses	17

Abbildungsverzeichnis

Abbildung II.1: Arbeitspaketbeschreibung und Designverantwortlichkeiten..... 14

I. KURZE DARSTELLUNG

I.1 Aufgabenstellung AVIRO3-RiSH

Der übergreifende Plan des Verbundprojektes AVIRO ist die konsequente Weiterentwicklung der universellen Multi-Sensor Fusion des Verbundpartners Universität Siegen (UnS) auf eine weltraumtaugliche Hardware. Vorab mussten dafür wichtige Punkte der Zusammenarbeit geklärt und die technischen Rahmenbedingungen evaluiert werden. Dieser vorbereitende Prozess diente der Kosten- und Zeiteinsparung bei einem folgenden Verbundvorhaben durch detaillierte Abstimmung des Arbeitsumfangs und Ausschöpfung von Einsparpotentialen.

Ziel dieser AVIRO3 Vorstudie war daher Evaluierung der Machbarkeit und Risikominimierung eines folgenden Verbundvorhabens, in dem die universelle Multi-Sensor Fusion zur Produktreife auf einer weltraumtauglichen Hardware-Plattform weiterentwickelt werden soll.

Mit AVIRO und AVIRO2 wurde von der UnS in mehrjähriger Entwicklungszeit ein Demonstrator für eine universelle Multi-Sensor Fusion auf einer kommerziellen Hardware Plattform entwickelt. In diversen Qualifizierungstests konnte das System zwar für den Einsatz im Weltraum vorqualifiziert werden. Für eine erfolgreiche Umsetzung des Systems zu einem weltraumtauglichen Produkt fehlten jedoch unterschiedliche Bestandteile wie lange Lebensdauer unter unterschiedlichen Weltraumbedingungen sowie weitere typischen Kundenanforderungen aus der der Weltraumsparte.

Evaluiert werden musste daher, inwiefern AVIRO auf raumfahrtqualifizierte Hardware portiert werden kann. Die Auswahl dieser Hardware erfolgte durch JOP unter Berücksichtigung verschiedenster Kunden- sowie Marktanforderungen. Sehr wichtig war dabei die Berücksichtigung der US-Exportrestriktionen, die den späteren Absatz der Einheit begünstigt und flexibler gestaltet.

Die Hardware und Anwendungsfälle, getrieben durch potenzielle Kundenanforderungen, sollen auf eine lange Lebensdauer (15 Jahre im Orbit) ausgelegt sein. Als Sensoren sollte ein Teil der Produktpalette der Jena-Optronik GmbH (JOP) portiert werden, wobei LiDAR-Daten (Light Detection and Ranging Sensors) eines JOP-Sensors erfolgreich in den Algorithmus implementiert werden konnte.

Ziel der Vorstudie war neben der Aussage über die Machbarkeit eines solchen Projekts auch die Definition eines konzeptionellen Designs zur Umsetzung von AVIRO auf neue Hardware.

Die spätere Entwicklung der Sensorfusionseinheit wurde in einem Entwicklungsplan dargestellt und setzt auf dem konzeptionellen Design auf. Dieser beschreibt die nächste Phase der Produktentwicklung in einem weiterführenden Projekt. Darin enthalten sind die technische Beschreibung und die Ziele der Entwicklung, eine Beschreibung der Anwendungsfälle, die mit der neuen Hardware abgedeckt sind, sowie ein Projektstrukturplan.

Um das AVIRO-Projekt zu einem wirtschaftlichen Anschluss und einem realen Einsatz zu führen, wurde mit dem Industriepartner JOP ein globaler Player in diesem Bereich gefunden, der in Zusammenarbeit mit der UnS das Projekt hin zu einem fertigen Produkt entwickeln wird. Dazu wurde ein weiteres Verbundvorhaben beantragt und genehmigt.

I.2 Voraussetzungen, während der Durchführung

Das Projekt AVIRO3-RiSH wurde in Kooperation von JOP mit der UnS im Zeitraum vom 01.11.2022 bis zum 30.04.2024 durchgeführt. Dabei zeigte sich JOP hauptsächlich für die Projektkoordination unter Leitung von Dr.-Ing. Heiko Wolfram verantwortlich, wobei hier mehrere Fachabteilungen an der Zusammenarbeit mit UnS beteiligt waren.

Das Institut für Echtzeit Lernsysteme (EZLS) an der UnS verfügt über umfangreiche Kompetenzen und Erfahrungen im Bereich der 3D-Umgebungsmodellierung und der Echtzeit Sensorfusion, welche für die Durchführung von AVIRO3-RiSH bedeutend sind.

JOP verfügt auf der anderen Seite über mehr als 40 Jahre Erfahrung in der Entwicklung, dem Bau, der Einsatz-Vorbereitung und -Auswertung von Gerätesystemen für den bemannten und unbemannten Weltraumflug.

Die Jena-Optronik GmbH ist im Besitz einer ausgezeichneten Reputation in den Geschäftsfeldern opto-elektronische Elemente und Systeme, Software sowie Orientierungs-, Navigations- und Kontrollsensoren.

Somit ist JOP der ideale Partner für UnS, um AVIRO erfolgreich zu einem weltraumtauglichen Produkt weiterzuentwickeln.

I.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Zum Projektteam gehörten die Jena-Optronik GmbH (JOP) sowie die Universität Siegen (UnS). JOP war für die Projektkoordination zuständig und hat in einer engen Partnerschaft mit der UnS gearbeitet und das Projekt AVIRO3-RiSH erfolgreich zum Abschluss gebracht.

AVIRO3-RiSH wurde am 01. November 2022 gestartet und hatte eine anfängliche Laufzeit von 12 Monaten. Aufgrund von Personalengpässen beim Projektpartner UnS kam es zu einer Verzögerung bei den Projektarbeiten.

Durch die enge Verzahnung der Arbeitspakete wirkte sich dies auch auf die Terminplanung von JOP aus. Daher wurde eine zweimalige kostenneutrale Projektverlängerung bis zum 30. April 2024 beantragt und bewilligt.

Im Projekt war JOP für folgende Arbeiten zuständig:

- AP-1100: Hardwarevorschlag (US/JOP)
- AP-2120: Beratungsleistung zum Sensorfusion Programmcode-Review (Schwerpunkt Space-Qualifizierung) (US/JOP)
- AP-2110: Definition Output-Schnittstellen (US/JOP)
- AP-3100: Teilbereich Konzeptuelles Design (JOP):
 - Analyse der Kundenanforderungen
 - Definition des ersten Designansatzes
 - Designverantwortlichkeiten
- AP-5100: Erstellung eines Entwicklungsplans (US/JOP)

Das Projekt konnte entsprechend dem Projektplan durchgeführt und abgeschlossen werden.

I.4 Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

I.4.1 Sensorfusion

Der Einsatz von Multi-Sensorsystemen in der Robotik sowie beim autonomen Fahren mithilfe von Advanced Driving Assistance Systemen (ADAS) wird immer notwendiger. Die verbreitetsten Sensor-Kombination beim autonomen Fahren sind die Kombination von Kamera und Laserscanner, Radar und Laserscanner sowie eine Kombination aus allen drei. Es gibt

verschiedene Publikationen zu diesem Thema. Diese beschreiben jedoch allesamt diverse verschiedene Verfahren zur Kalibrierung eines speziellen und fixen Sensorverbunds. In AVIRO wurde durch UnS jedoch ein universelles Sensorfusionssystem entwickelt, welches ohne Kalibrierkörper auskommt und sich somit selbst konfigurieren kann.

AVIRO kann eine initiale Kalibrierung selbst durchführen und erreicht durch das OOB-Prinzip ein deutlich breiteres Einsatzspektrum.

I.4.2 Spezialhardware (FPGA) zur beschleunigten Berechnung

Im kommerziellen Bereich ist die Verwendung von Spezialhardware zur Beschleunigung von rechenintensiven Prozessen bereits in vielen Geräten umgesetzt. So existieren beispielsweise in jedem Smartphone Beschleunigungschips, um hochauflösende Videos ruckelfrei abzuspielen.

Rechenintensive Programme können durch teilweise Auslagerung auf Grafikkarten erheblich beschleunigt werden. Künstliche Intelligenz wird durch Grafikkarten massiv beschleunigt, Firmen von Künstliche Intelligenz benutzen tausende von Grafikkarten für ihre Dienstleistung.

Bei der Sensorfusion gibt es bisher kaum Ansätze für eine Implementierung, die Algorithmen auf einem FPGA einbeziehen. Dieser Themenbereich ist relativ jung und bisher kaum erforscht oder behandelt worden. Einzelne Versuche der Sensorfusion auf einem FPGA sind sehr einfach und rudimentär.

Speziell für den Einsatz auf radiation-hardened FPGAs gibt es wenig vergleichbare Arbeiten im Bereich der Bildverarbeitung und Sensorfusion. Dies gilt insbesondere für den in AVIRO3 verwendeten NanoXplore NG-Ultra FPGA, der als leistungsstarker radiation-hardened FPGA aus europäischer Fertigung ein Novum darstellt und aufgrund seiner recht neuen Markteinführung noch nicht viel erforscht und eingesetzt wurde.

I.4.3 Angabe der verwendeten Fachliteratur sowie der benutzten Informations- und Dokumentationsdienste

Für die Durchführung des Projekts wurden keine Informationsdienste genutzt.

I.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während des Projektes fand eine enge Zusammenarbeit mit dem Projektpartner, der UnS statt. In regelmäßigen Online-Projekttreffen wurden der aktuelle Fortschritt sowie offene Fragen besprochen. Die restliche Kommunikation erfolgte per Mail oder telefonisch. Der Austausch von sensiblen Daten erfolgte über sichere Cloudserver der Projektpartner.

Bei JOP waren mehrere verschiedene Fachabteilungen in der Projektarbeit involviert. Bei UnS war es das Institut für Echtzeit Lernsysteme (EZLS) unter der Leitung von Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Kuhnert.

II. EINGEHENDE DARSTELLUNG

II.1 Verwendung der Zuwendung und des erzielten Ergebnisses im Einzelnen, mit Gegenüberstellung der vorgegebenen Ziele

II.1.1 Überblick

Im Projekt war JOP für folgende Arbeitspakete zuständig:

- AP-1100: Hardwarevorschlag
- AP-2120: Beratungsleistung zum Sensorfusion Programmcode-Review (Schwerpunkt Space-Qualifizierung)
- AP-2110: Definition Output-Schnittstellen
- AP-3100: Teilbereich Konzeptuelles Design:
 - Analyse der Kundenanforderungen
 - Definition des ersten Designansatzes
 - Designverantwortlichkeiten
- AP-5100: Erstellung eines Entwicklungsplans

Alle Arbeitspakete konnten im Projektzeitraum erfolgreich beendet werden.

II.1.2 AP-1100: Hardwarevorschlag

Dieses Arbeitspaket sah vor, dass JOP eine Auswahl an raumfahrtgeeigneten Komponenten als Hardwarebasis vorschlägt, die sich für die geforderte Aufgabe eignen. Die Hardware wurde auf eine lange Lebensdauer (15 Jahre im Orbit) ausgelegt, dies getrieben durch potenzielle Kundenanforderungen und Anwendungsfälle.

Hierbei ergaben sich für UnS Risiken, dass es zu einer Korrektur der Hardware kommen kann, beziehungsweise gängige Space-Hardware eine zu geringe Performance aufweist.

Ergebnisse:

Als CPU fiel die Entscheidung dabei auf den Quad-core LEON4 SPARC V8 Prozessor GR740FT der Firma Gaisler, welcher schon einen weit verbreiteten Einsatz bei JOP hat. Der Prozessor

basiert auf SPARC-V8 Architektur, der Architektur auf der die meisten Mikroprozessoren in Europäischen Weltraumapplikationen aufbauen. Dazu ist der GR740FT ein Produkt aus europäischer Herstellung, was Probleme beim Export des Endproduktes vermeidet (bspw. durch Export-Restriktionen ITAR / EAR)

Beim FPGA fiel die Entscheidung auf den NanoXplore NG-Ultra. NanoXplore ist ein privates, 2010 gegründetes Halbleiterunternehmen ohne eigene Fertigung. Es ist ein französisches Unternehmen mit internationaler Reichweite, das an der Entwicklung strahlengeschützter FPGAs arbeitet, die für Hi-Rel-Anwendungen geeignet sind. Zudem enthält der FPGA 4 ARM Coretex R52 Kerne, mit denen eine zusätzliche Prozessierung möglich ist. Auch hier werden durch die europäische Produktion Probleme beim Export des Endproduktes vermieden, was den Vertrieb des Produktes deutlich erleichtert.

II.1.3 AP-2120: Beratungsleistung zum Sensorfusion Programmcode-Review (Schwerpunkt Space-Qualifizierung)

Um Softwarecode zu qualifizieren, gibt es in den Bereichen Raumfahrt verschiedene Richtlinien und Standards, nach denen Programmcode geprüft und bewertet wird. Um hierzu eine erste Einschätzung abgeben zu können, beriet JOP, welche Änderungen (und in welchem Umfang) am Programmcode zu erwarten sind, um den Richtlinien für diese Qualifikationen gerecht zu werden.

Ergebnisse:

Die Code Richtlinien von JOP wurden der UnS zur Verfügung gestellt. In einem ersten Code Review wurden die nötigen Schritte besprochen, wie das Musterprogramm die Anforderungen der Code Richtlinien von JOP erfüllen kann.

In einem anschließenden Code Review konnte die Kompatibilität des nach C übersetzten Musterprogramms bestätigt und dokumentiert werden. Dazu ist ein umfangreicher Code Review Report entstanden.

Damit ist die Kompatibilität der Code Basis zu den Richtlinien von JOP demonstriert worden, wobei geringe Verbesserungen angeregt wurden, um Warnungen von Compiler und Flexelint zu vermeiden.

II.1.4 AP-2110: Definition Output-Schnittstellen

Für die Sensorfusionseinheit sollte festgelegt werden, welche Daten die Ausgangsschnittstellen ausgeben. Hierbei sollte zum einen die physische Schnittstelle definiert werden, und zum anderen mit welchen Parametern (Datenformat, Datenrate, ...) die Daten von der Output-

Schnittstelle bereitgestellt werden. Zur Haltung oder Übertragung der Daten sollte zudem ein Speicherformat definiert werden.

Ergebnisse:

Als Ausgangsschnittstelle wurde analog zur Eingangsschnittstelle der SpaceWire-Standard festgelegt. Dies garantiert eine ESA-konforme Kommunikation des AVIRO-Moduls mit anderen Systemkomponenten.

Der Daten-Output im Network- und Packet-Layer orientiert sich an den Vorgaben für Datenpaketen von JOP.

Für eine kolorierte Punktwolke wurde eine eigene Definition festgelegt, die den Aufbau der unkolorierten Punktwolken von JOP um 24 Bit erweitert, um so Farben im RGB-Farbraum (RGB = Rot-Grün-Blau) mit jeweils 8 Bit darzustellen. Der Wertebereich beträgt damit 0 bis 255.

II.1.5 AP-3100: Teilbereich Konzeptuelles Design

Die Analyse von potenzielle Kundenanforderungen hat gezeigt, dass Hardware und Anwendungsfälle auf lange Lebensdauer (15 Jahre im Orbit) ausgelegt sein sollten. Diese Vorgabe schließt jedoch den Einsatz von COTS-Komponenten (Commercial off-the-Shelf), welche bei UnS im Projekt AVIRO2 evaluiert wurden, aus, da damit nicht die geforderte System-Zuverlässigkeit erreicht werden kann.

Als Sensoren zur Sensorfusion wurden dabei Systeme mit Kameras beziehungsweise Systeme mit Kamera und LiDAR-Sensoren (Light Detection and Ranging) evaluiert.

Aus der Analyse der Kundenanforderungen erfolgte die Spezifikation der detaillierten Produktanforderungen sowie das Herunterbrechen der Anforderungen in einzelne Teilbereiche. Dies umfasst unter anderem funktionale Anforderungen, Leistungsanforderungen, Schnittstellenanforderungen, Anforderungen an die Zuverlässigkeit, Qualitäts- sowie Dokumentationsanforderungen.

Aus dieser Produktanforderungen erfolgte die Definition des ersten Designansatzes durch die Erstellung einer detaillierten Spezifikation.

Die Designverantwortlichkeiten wurden ausführlich im Entwicklungsplan dargestellt. Abbildung II.1 zeigt einen Ausschnitt der Arbeitspaketbeschreibung und entsprechenden Designverantwortlichkeiten.

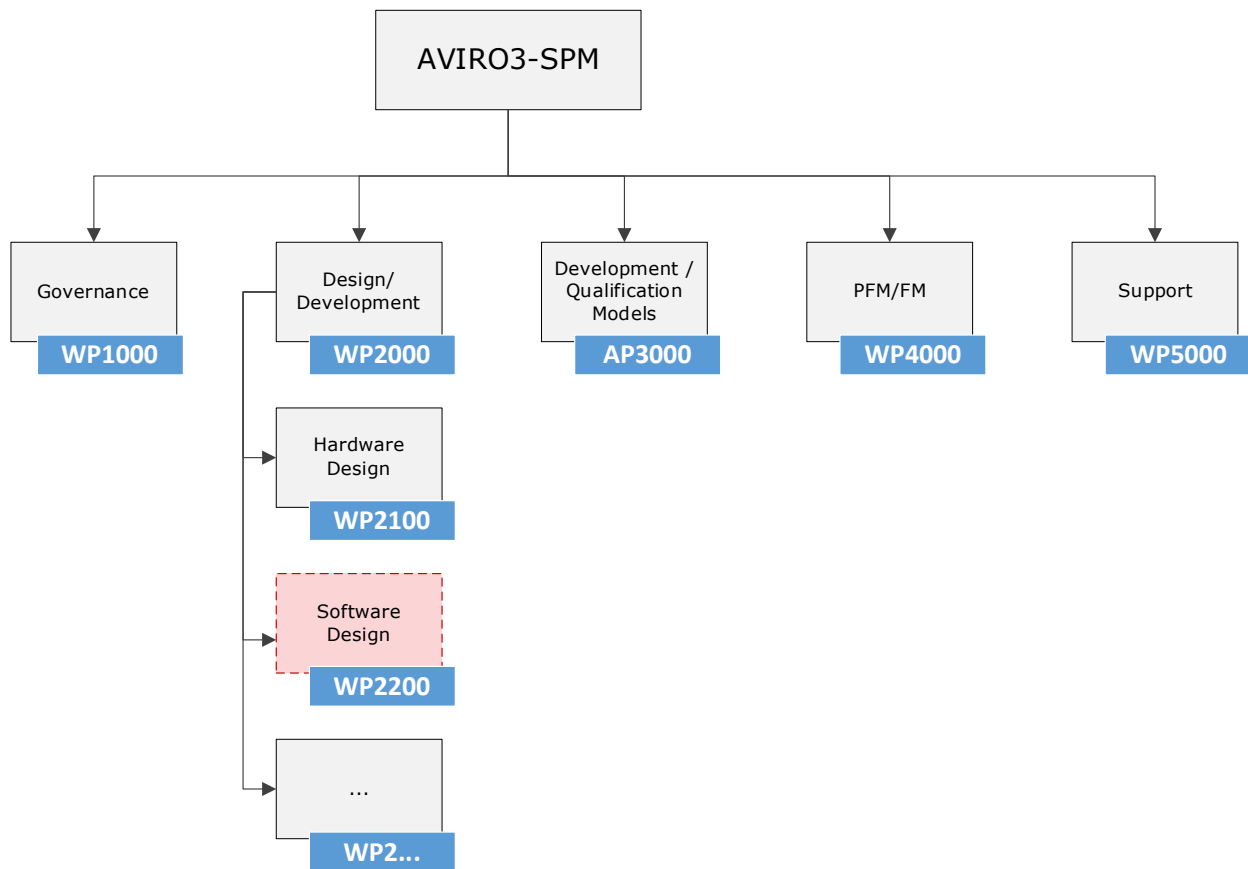


Abbildung II.1: Arbeitspaketbeschreibung und Designverantwortlichkeiten

Grundsätzlich besteht zwischen den Projektpartnern Einigkeit darüber, dass UnS für das Softwaredesign und damit abhängigen Arbeitspakete sich verantwortlich zeigt. Das Hardwaredesign und sämtliche andere Tätigkeiten werden bei JOP ausgeführt.

II.1.6 AP-5100: Erstellung eines Entwicklungsplans

Die spätere Entwicklung der Sensorfusionseinheit wurde in einem Entwicklungsplan dargestellt. Dieser orientierte sich dabei an den internen ISO-Abläufen von JOP. Dieser Entwurfs- und Entwicklungsprozess ist in verschiedene Phasen unterteilt und beinhaltet sämtliche Aktivitäten von Design-, Entwurfs- und Herstellungsphase sowie sämtliche Meilensteine in der Entwicklung.

Der Zweck des Entwicklungsplans ist die Beschreibung der Projektverwaltung und die Hardwareentwicklung, um die Ziele und Vorgaben innerhalb der definierten programmatischen Grenzen zu erreichen

Das Dokument definiert die Verfahren und Praktiken, die JOP bei der Durchführung des Projekts befolgt werden sollen. Es definiert auch die Beziehungen und Schnittstellen zwischen den

Projektteilnehmern, die Kommunikations- und Informationskanäle sowie Verfahren für Technik, Dokumentation, Zeitplan, Kosten und Änderungskontrolle.

Darüber hinaus umfasst dieses Dokument den Konfigurationsmanagementplan und beschreibt die Elemente die sicherstellen, dass die Implementierung des Konfigurationsmanagements den Kundenanforderungen entspricht und dem Programm oder Projekt, der Organisation und der Managementstruktur angemessen ist.

II.2 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Sämtliche Projektkosten stellten die Personalkosten dar. Unter Hilfe von JOP-Experten aus verschiedenen Aufgabenbereichen bearbeitete ein Mitarbeiter über die Projektdauer unterschiedliche Projektschwerpunkte:

- Projektleitung und Durchführung von Abstimmungsmeetings zwischen den Projektpartnern
- Analyse der Kundenanforderungen,
- Auswahl von Hardwarekomponenten, die die den geforderten Aufgaben genügen,
- Code-Review zur Bewertung der Codequalität nach Raumfahrtstandards,
- Schnittstellen-Definition sowie Lieferung von Sensor-Beispieldaten,
- Erstellung der Spezifikation sowie eines Entwicklungsplans für eine zukünftige Sensorfusionseinheit.

II.3 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die Systeme von UnS, AVIRO1 und AVIRO2, sind komplexe Systeme zur Sensorfusion, die für kommerzielle Hardware entwickelt wurden und speziell auf diese Hardware zugeschnitten sind. Die Tests in AVIRO2, darunter Strahlungs-, Vibrations- und Vakuumtests, haben gezeigt, dass die Hardware einigen Belastungen standhält, die bei Einsätzen im niedrigen Orbit zu erwarten sind.

Diese COTS-Komponenten sind jedoch nicht geeignet für Weltraummissionen, die im höheren Orbit und/oder über einen längeren Zeitraum stattfinden. Eine Marktanalyse sowie Analyse der Kundenanforderungen von JOP hat jedoch gezeigt, dass es genau diese Anwendungsfelder sind, in denen das von der UnS entwickelte System sinnvoll eingesetzt werden könnte.

Somit musste durch JOP strahlungsharte Hardware gefunden werden, die die verwendeten COTS Komponenten vollständig ersetzen. Dies ist mit großen Risiken für UnS verbunden, da strahlungsharte Komponenten nicht annähernd die Leistung kommerzieller Typen besitzen. Zudem ist es für JOP wichtig, dass sämtliche Hardwarekomponenten keinerlei US-Exportrestriktionen unterliegen, was den späteren Absatz der Einheit begünstigt und flexibler gestaltet.

Insbesondere der Bereich der radiation-hard FPGAs war dieses Ziel bis vor kurzem unmöglich zu erreichen. Glücklicherweise konnte aufgrund einer ESA geförderten Entwicklung ein strahlungsharter FPGA ausfindig gemacht werden, der gerade diese Forderungen erfüllt. Die verwendete NanoXplore FPGA-Hardware wurde somit erst vor wenigen Jahren auf dem Markt eingeführt. Die daher noch fehlenden Erfahrungen mit diesem Produkt ist für UnS mit großen Risiken verbunden.

Im Bereich der Software gibt es Richtlinien und Standards, nach denen Programmcode geprüft und bewertet wird. Um gerade diesen Anforderungen des generierten Codes von UnS zu genügen, wurden mehrere Code-Reviews seitens JOP durchgeführt und in Reports ausführlich dargestellt. Rückfragen wurden seitens JOP-Experten umgehend beantwortet.

Für eine erfolgreiche Entwicklung zu einem finalen Produkt sind Spezifikation und Entwicklungsplan unumgänglich. Diese wurden durch JOP unter Hilfe von UnS erstellt und UnS zur Verfügung gestellt.

Für diese sehr spezifischen beschriebenen Aufgaben war die Förderung durch das DLR notwendig.

II.4 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere der Verwertbarkeit des Ergebnisses im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Das in AVIRO3-RiSH entworfene konzeptionelle Design bildet die Grundlage für die weitere JOP-Kooperation mit UnS und die Weiterentwicklung des AVIRO-Systems.

Ziel ist es, die Technik aus vorherigen Projekten von UnS mit den Ergebnissen aus AVIRO3-RiSH und den darauf gewonnenen Erkenntnissen zu nutzen, um ein System zu entwickeln, welches zu einem realen Einsatz kommen kann.

Diese Arbeit bildet die Grundlage für das weiterführende Forschungsprojekt AVIROspace, bei dem Sensoren von JOP mit dem AVIRO-System kombiniert sollen. Zudem wird das AVIRO-

System als Basis genutzt, um weitere Features der Bildverarbeitung für die Sensoren von JOP zu implementieren.

II.5 Während der Durchführung des Vorhabens dem ZE bekannt gewordenen Fortschritts auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Dem Projektteam aus JOP und UnS sind während der Durchführung keine weiteren Entwicklungen auf dem hier bearbeiteten Gebiet bekannt geworden. Aufgrund der sehr speziellen Ausrichtung des Projektes und der sehr spezialisierten Hardware ist dies sehr unwahrscheinlich.

II.6 Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen des Ergebnisses

Die Ergebnisse des Projektes werden im Rahmen einer Abschlusspräsentation beim DLR gezeigt.