

Abschlussbericht 2023-2025

TEIL II

Teilvorhaben:

Verteilte Funkdetektion und Integration der IDAS-PRO-Technologie in einen mobilen Demonstrator

Förderkennzeichen: 13N16501

Gefördert durch:



BMBF Förderung zum Themenfeld „Innovationen im Einsatz – Praxisleuchttürme der zivilen Sicherheit“ im Rahmen des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit 2018 bis 2023“ der Bundesregierung

Produkt Daten

Dok.-Type	Abschlussbericht	
Dok.-ID	002352_IDAS_AB_TEIL_II_2025_010	
Version	010	
Autor	Michael Mertens	
Ausgabe vom	17.09.2025	
Letzte Revision	27.10.2025	
Status		Entwurf
		Gepüft
	X	Genehmigt

Projekt Information

<i>Projekt Titel</i>	<i>IDAS-PRO</i>
<i>Projekt Manager</i>	<i>Dr. Reda Zemhari</i>

Beteiligte

<i>Name</i>	<i>Funktion</i>	<i>Firma</i>
<i>Dr. Christoph Wasserzier</i>	<i>System Engineer</i>	<i>ELETTRONICA GmbH</i>
<i>Eric Wilms</i>	<i>SW Engineer</i>	<i>ELETTRONICA GmbH</i>
<i>Dr. Michael Mertens</i>	<i>SW Engineer</i>	<i>ELETTRONICA GmbH</i>
<i>Dr. Reda Zemhari</i>	<i>Projektmanager</i>	<i>ELETTRONICA GmbH</i>

Änderungsverzeichnis

<i>Datum</i>	<i>Version</i>	<i>Seiten/Kapitel</i>	<i>Beschreibung</i>	<i>Autor</i>	<i>Status</i>
<i>15.07.2025</i>	<i>0.1</i>	<i>Alle</i>	<i>Initial</i>	<i>Michael Mertens</i>	<i>DRAFT</i>
<i>15.09.2025</i>	<i>0.2</i>	<i>Kap. 6</i>	<i>Inhalte zu Feldtests hinzugefügt</i>	<i>Michael Mertens</i>	<i>DRAFT</i>
<i>15.09.2025</i>	<i>0.3</i>	<i>Kap. 5</i>	<i>Inhalte eingefügt</i>	<i>Eric Wilms</i>	<i>DRAFT</i>
<i>17.09.2025</i>	<i>0.4</i>	<i>Kap. 5</i>	<i>Inhalte eingefügt</i>	<i>Michael Mertens</i>	<i>DRAFT</i>
<i>27.10.2025</i>	<i>0.5</i>	<i>Alle</i>	<i>Review</i>	<i>Reda Zemhari</i>	<i>Geprüft</i>
<i>27.10.2025</i>	<i>1.0</i>	<i>Alle</i>	<i>Review</i>	<i>Reda Zemhari</i>	<i>genehmigt</i>

Inhaltsverzeichnis

1	Zweck des Dokumentes/Einleitung	4
1.1	Abkürzungen	4
1.2	Dokumente.....	4
2	Teilvorhaben spezifische Projektziele.....	6
2.1	Analyse der Nutzeranforderung	6
2.2	Veröffentlichungen des Ergebnisses	6
3	Weiterentwicklung ELT-Funkaufklärungssystem.....	8
3.1	Allgemeines Systemkonzept.....	8
3.2	Anbindung des abgesetzten Sensors über LORA.....	10
3.3	Richtungskalibrierung mittels Testsender	12
4	Anbindung von Sensoren an IDAS-PRO-Kernsystem	14
4.1	Generelle Anbindung mittels homogener SW-Schicht	14
4.2	Finalisierung der ICD-Anbindung	16
4.3	Anbindung doppelter Sensoren.....	17
4.4	Latenzproblem.....	18
5	Feldversuche.....	19
5.1	Ergebnisse der Messkampagne "Feldtest 1" in Mosbach.....	19
5.2	Ergebnisse der Messkampagne "Feldtest 2" in Roth.....	25
5.3	Ergebnisse der Messkampagne "Feldtest 3" in Roth.....	30
5.4	Ergebnisse der Messkampagne "Feldtest 4" in Mosbach.....	33
6	Verwertungsplan.....	36

1 Zweck des Dokumentes/Einleitung

Dieses Dokument fasst die Ergebnisse zusammen, welche im Rahmen des Leuchtturmprojektes IDAS-PRO durch ELT GmbH erzielt worden sind. Das Projekt mit einer Laufzeit von 30 Monaten befasste sich mit der Frage, wie eine kosteneffektive, flexible Lösung zur Abwehr von Angriffen mit Drohnen aufgebaut werden kann. Neben der Verlegbarkeit soll IDAS-PRO auf eine offene und modulare Architektur aufbauen, um skalierbare Systemkonfigurationen für verschiedene Einsatzszenarien zu erlauben.

Im Teilvorhaben (TV) „**Verteilte Funkdetektion und Integration der IDAS-PRO Technologie in einen mobilen Demonstrator**“ unter der Federführung von ELT GmbH wurde in Abstimmung mit dem Endanwender der Fokus auf drei Hauptthemen gelegt:

1. Die Weiterentwicklung des ELT-Funkaufklärungssystems. Dies bedeutet einerseits die Verbesserung der Reichweite, der Detektionsfähigkeit und Klassifikation, andererseits die Erweiterung auf 2 Knoten. Letzteres erlaubt durch eine Kreuzpeilung die Lokalisierung der Drohne und Fernbedienung (Kapitel 3).
2. Die intuitive Anbindung eigener und fremder Sensorik an das IDAS-PRO-Kernsystem. Insbesondere letzteres soll die Modularität und Skalierbarkeit der IDAS-PRO-Architektur unter Beweis stellen (Kapitel 4).
3. Test und Validierung in realitätsnahen Feldversuchen (Kapitel 5).

Die Integration und wirtschaftliche Verwertung soll ELT GmbH übernehmen. In Kapitel 6 befindet sich eine Zusammenfassung des Verwertungsplans.

1.1 Abkürzungen

Akronym	Beschreibung
AD	Anzuwendendes Dokument
AMBOS	„Abwehr von unbemannten Flugobjekten für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben“
ELT	„Elettronica GmbH“
EO	elektro-optisch
FKIE	„Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie“
FPGA	Field-Programmable Gate Array, Eine programmierbare Logikschaltung
HPEM	High Power Electronic Microwave
ICD	Interface Control Document
IDMT	„Fraunhofer Institute for Digital Media Technology“
IR	Infrarot
ITP	Integrations- und Testplan
LRF	Laser Range Finder
PDM	Pulse Description Message
SW	Software
UAN	Unterauftragnehmer
UAV	Unmanned Aerial Vehicle; unbemanntes Luftfahrzeug

Tabelle 1 - Abkürzungsverzeichnis

1.2 Dokumente

Die zur Erstellung dieses Dokuments benutzten Unterlagen sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Dokument ID	Dokument Titel	Revision
AD-1	Verbundbeschreibung zu IDAS-PRO „GVB_IDAS-PRO_final.pdf“	15.09.2022
AD-2	IDAS-PRO Interfacekontrolldokument „IDAS-PRO Interfacekontrolldokument - 1.5.pdf“	10.01.2024

Tabelle 2 - Liste der genutzten Dokumente

2 Teilvorhaben spezifische Projektziele

In der GVB wurde das Ziel im Leuchtturmprojekt IDAS-PRO formuliert: „Risiken durch Synergien der beteiligten Konsortialpartner zu mindern und als einen Prototyp zu entwickeln, der intensiv unter realistischen Bedingungen erprobt und sach- und fachgerecht bewertet werden kann“. Auf das TV bezogen bedeutete dies:

- Die experimentelle Weiterentwicklung von Teilkomponenten (RF-Sensoren)
- Die Anbindung der RF-Sensoren an das Gesamtsystem IDAS-PRO
- Die Anbindung von Sensoren Dritter an das Gesamtsystem IDAS-PRO
- Erprobung unter realistischen Bedingungen

2.1 Analyse der Nutzeranforderung

Zur Erreichung der TV-Ziele wurde in Abstimmung mit den Endanwendern und im Rahmen von mehreren Workshops eine technische Übersetzung der Nutzeranforderungen in Bezug auf die ELT-Sensoren durchgeführt. Als Vorgabe waren die definierten operationellen Ziele, welche in typischen (Bedrohungs-) Szenarien und Anwendungsfällen detaillierter beschrieben worden sind. Danach fand eine Überführung in funktionale und nicht funktionale Anforderungen statt.

2.2 Veröffentlichungen des Ergebnisses

Als Gesamtkoordinator des Projektes IDAS-PRO hat ELT GmbH das Konsortium auf verschiedenen Veranstaltungen vertreten und für das Vorhaben geworben. Beispielhaft sind die folgenden zwei Veranstaltungen:

- „Innovationsforum“ in Berlin
- „PROTEKT“ in Leipzig



Abbildung 2-1: IDAS-PRO-Stand beim Innovationsforum in Berlin



Abbildung 2-2: IDAS-PRO-Stand auf der „PROTEKT“-Konferenz in Leipzig

3 Weiterentwicklung ELT-Funkaufklärungssystem

3.1 Allgemeines Systemkonzept

Im Rahmen von AP3 wurde ein für die Drohnerdetektion geeignetes Funkaufklärungssystem (RF-Sensor) entwickelt, das die Früherkennung von Bedrohungen ermöglicht und eine 2-dimensionale Richtungsschätzung zulässt.

Der RF-Sensor soll die Detektion sowohl von Drohnen als auch der Fernbedienung ermöglichen. Darüber hinaus soll er die Quelle des Signals identifizieren und klassifizieren (Drohnenklasse/ Fernbedienung/ WiFi-Sendern). Der Typ der Drohne soll dem Bediener eine Freund-Feind-Erkennung ermöglichen. Im Weiteren soll die Bedienung des Sensors intuitiv gestaltet werden. Im Verbund mit heterogenen, vernetzten Sensoren soll die gelieferte Information durch die Datenfusion zu einem Gesamtlagebild führen.

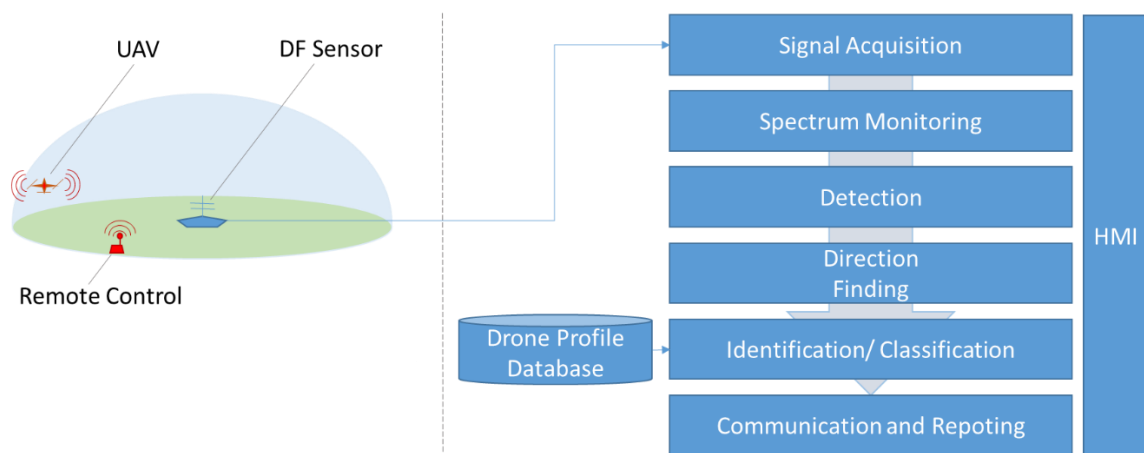


Abbildung 3.1: Umgebungsskizze (links) und Systemkonzept (rechts)

Abbildung 3.1 stellt rechts das Systemkonzept auf funktionale Ebene dar, während die linke Skizze ein Beispieleinsatzszenario abbildet. Die Situationskizze zeigt eine Drohne und die dazugehörige Fernsteuerung, die sich in der Reichweite des Sensors befindet, deren RF-Signale durch den Sensor erfasst und verarbeitet werden. Im Folgenden werden die Teilkomponenten des Systems erläutert:

Signal Acquisition: In den zu betrachtenden ISM-Frequenzbändern sind Funksignale zu erfassen, zu filtern und entsprechend der geforderten Reichweite zu verstärken.

Spectrum Monitoring: Eine lückenlose Überwachung der zu betrachtenden Frequenzbänder soll gewährleistet werden.

Detection: Signalanteile im Überwachungsbereich und mit einer zu ermittelnden Sendeleistung sollen unverzüglich detektiert und die entsprechenden Parameter (Pulse Description Message, PDM) ermittelt werden.

Direction Finding: Die 2D-Einfallrichtungen (engl. *Angle of Arrival*, AOA) der emittierenden Quellen werden messtechnisch geschätzt. Die Schätzung ist sowohl in Azimut als auch in der Elevation zu gewährleisten.

Drone Profile Database: Relevante Parameter von Drohnen sollen für die Klassifikation vorab gesammelt und aktualisiert sein. Hierfür wird eine Datenbank laufend mit neuen Modellen aktualisiert.

Identification & Classification: Durch Fusion der ermittelten Parameter und Abgleich mit der Datenbank wird die Identifikation bzw. Klassifikation von Drohnen erzielt.

Communication & Reporting: Diese Subfunktion befähigt den Sensor, mit anderen Sensoren zu kommunizieren und Informationen auszutauschen. Bei IDAS-PRO wird dies durch die ActiveMQ-Schnittstelle gesichert.

Neben den funktionalen Anforderungen standen auch die nicht-funktionalen Anforderungen im Fokus der ersten Evolutionsphase des RF-Sensors aus der Stufe „Demonstrator“ (Projekt AMBOS) hin zum IDAS-PRO „Prototyp“ (Abbildung 3.2).

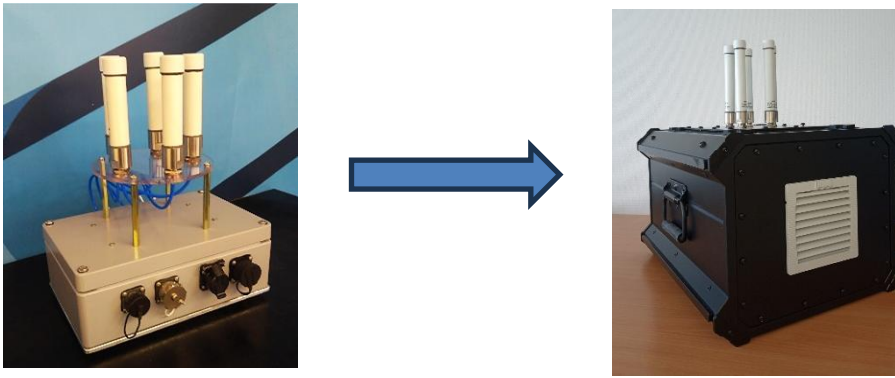


Abbildung 3.2: Weiterentwicklung des RF-Sensors. Links: Entwicklungsstufe in AMBOS, Rechts: IDAS-PRO-PRO Prototyp.

In der zweiten Entwicklungsphase wurde ein zweiter Sensor fertiggestellt:



Abbildung 3.3: Zweiter RF-Sensor

Die Erweiterung der Richtungserfassung um einen zweiten Sensor ermöglicht eine Schätzung zur Positionsbestimmung der Signalquelle über Triangulation, wie in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Dort ist zu erkennen, dass die grün dargestellten Richtungsschätzungen der beiden RF-Peiler sich an jenem Ort schneiden, an dem zeitgleich eines der Radare des IDAS-PRO-Netzwerks eine Drohne aufgefasst hat.

Analog lässt sich so auch eine Indikation auf den Standort des Drohnenpiloten ermitteln, wenn - statt des Video-Downlinks der Drohne - die Steuersignale der Fernbedienung gepeilt werden.



Abbildung 3.4: Beispielhaftes Ergebnis aus Feldtest in Mosbach

3.2 Anbindung des abgesetzten Sensors über LORA

Für eine zuverlässige Triangulation ist die Positionierung der beiden Funkpeiler und deren Geometrie ein entscheidender Faktor. Hierbei hat die Basislinie zwischen den RF-Sensoren maßgeblichen Einfluss auf die Qualität der Triangulation.

Anfangs wurden die Komponenten im Wesentlichen über kabelgebunden in das IDAS-PRO-Netzwerk integriert. Dies limitiert die verfügbaren Geometrien und auch die Ausdehnung der Basislinie zwischen den beiden Funkpeilern. Aus diesem Grund wurde eine Evaluation durchgeführt, mit welchen Funklösungen, ein abgesetzter Funkpeiler eingebunden werden kann. Sämtliche Funkverbindungen auf WLAN-Basis wurden verworfen, da diese in den gleichen Frequenzbereichen arbeiten, wie die Drohnen, deren Signale vom Funkpeiler erfasst werden sollen. Somit würde der Funkpeiler bei Nutzung einer WLAN-Verbindung seine eigenen Empfangskanäle stören.

Aus Basis dieser Überlegungen wurde in der Implementierung der Funkverbindung das LoRa (Long-Range) Funkprotokoll verwendet, welches für diese Anwendung sowohl Vor- als auch Nachteile bietet.

Neben der frequenzzeitigen Separierung von Kommunikationskanal und überwachten Frequenzen, bietet die LoRa-Technologie sehr hohe Reichweiten aufgrund der eingesetzten niedrigen Sendefrequenz.

Allerdings ist die Datenübertragungsbandbreite durch zwei Faktoren limitiert – zum einen über die geringe Frequenzbandbreite und zum anderen durch die Regularien des LoRa-Betriebs, welche die Zeitfenster, in denen eine Aussendung stattfinden darf, einschränken.

Aus diesem Grund wurde eine einseitige Funkverbindung implementiert, über welche derzeit ausschließlich die Detektionsnachrichten des Funkpeilers in das IDAS-PRO-Netzwerk übermittelt werden.

In der Umsetzung stellt einer der beiden LoRa-Knoten eine Emulation des IDAS-PRO-Netzwerks für den RF-Sensor dar, inklusive einer Zeitreferenz, die aus GPS-Informationen abgeleitet wird. Somit muss der Sensor für den abgesetzten Betrieb nicht gesondert konfiguriert werden. Die Schnittstelle und die darüber erreichbare Infrastruktur bleibt aus Sicht des Sensors unverändert.

Der zweite LoRa-Knoten ist eine Emulation des RF-Sensors in Richtung des IDAS-PRO-Netzwerks. Die Datenpakete, die über Funk zwischen den LoRa-Knoten ausgetauscht wurden, werden für das IDAS-PRO-Netzwerk dergestalt aufbereitet, dass es für Letzteres so aussieht, als sei der Funkpeiler direkt angebunden.

Die nachfolgende Abbildung stellt die Elemente der Erweiterung zum Funkpeiler dar. In grün und grau sind die LoRa-Knoten dargestellt. In schwarz ist der ursprüngliche Funkpeiler, der auf dem Messbus montiert ist, abgebildet, und in dunkelgrün der abgesetzte, zweite Funkpeiler für den Betrieb auf z.B. einem Dreibeinstativ. Der Nutzen des orangenen Elements wird im folgenden Kapitel erläutert. Hier sind im Vorgriff auch bereits dessen Informationskanäle eingezeichnet.

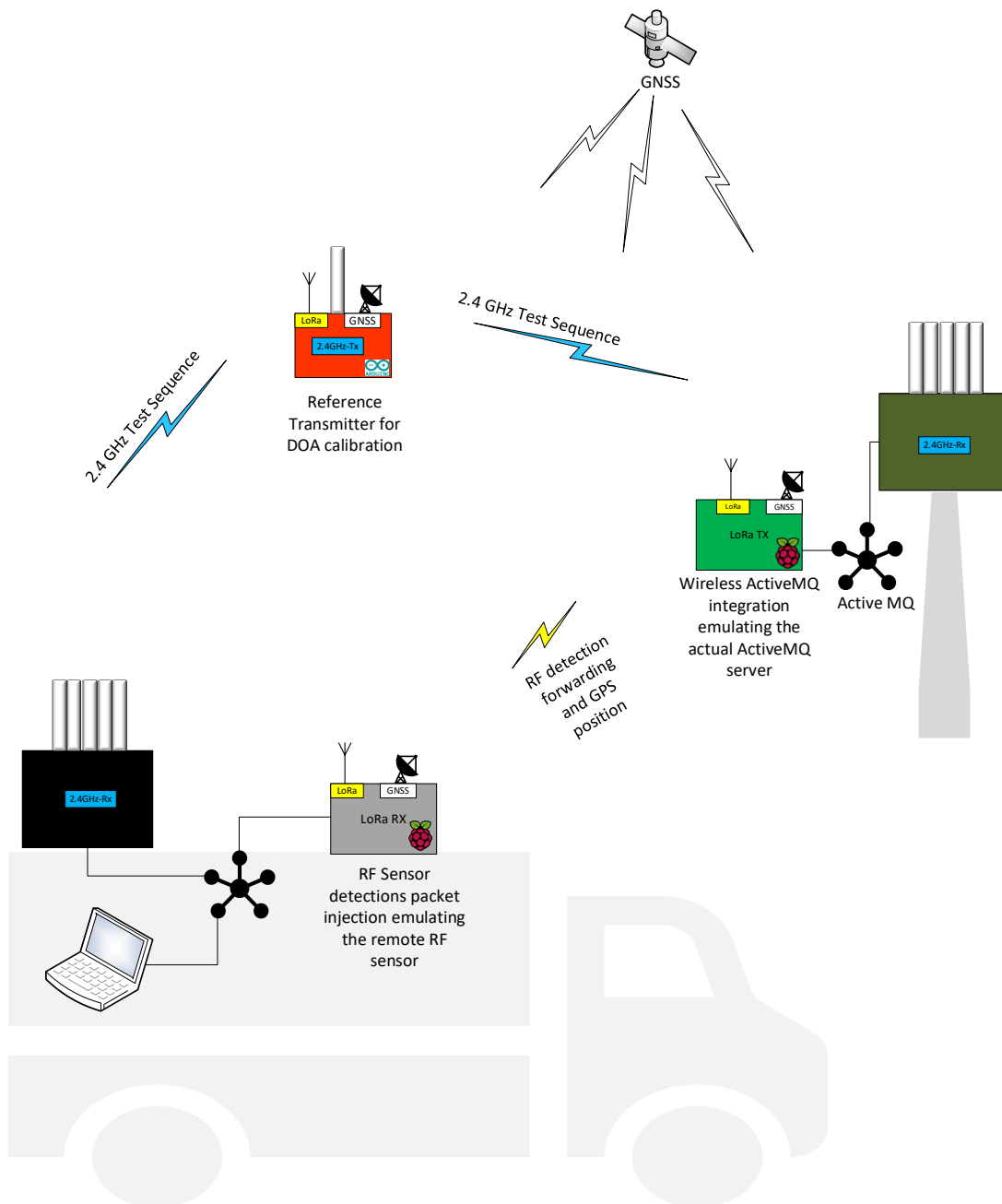


Abbildung 3.5: Schematische Darstellung der Einbindung eines abgesetzten RF-Sensors in das IDAS-PRO-Netzwerk. Hier ist auch bereits der Testsender dargestellt, der in Kapitel 3.3 erläutert wird.

3.3 Richtungskalibrierung mittels Testsender

Für eine sinnvolle Nutzung der Ergebnisse der RF-Sensoren muss zunächst deren Ausrichtung bestimmt und die Richtungsschätzung kalibriert werden. Aus diesem Grund wurde ein mobiler Testsender aufgebaut, der seine Position über GPS bestimmt und anzeigt, während er ein Kalibrationssignal im Frequenzbereich

des RF-Sensors emittiert. Im RF-Sensor kann nun dieses Signal anhand seiner Signalcharakteristik identifiziert werden, und die Richtung zum Testsender geschätzt werden.

Ein Analyseprogramm errechnet anschließend die Ausrichtung des RF-Sensors gegenüber Nordrichtung aus der unkorrigierten beobachteten Einfallsrichtung und den GPS-Positionen des Testsenders und des RF-Sensors. Das Programm berechnet zudem die Distanz zwischen dem RF-Sensor und dem Testsender aus den GPS-Koordinaten. Dies dient einem schnellen Plausibilitätscheck durch den Bediener, um mögliche Fehler bei der Übertragung der GPS-Koordinaten abzufangen.

Im Feldtest hat sich gezeigt, dass eine Messreihe mit verschiedenen Standorten des Testsenders zur Kalibration einem Einzeltest oft überlegen ist.



Abbildung 3.6: Dokumentierte Richtungskalibration während Feldtest in Roth

4 Anbindung von Sensoren an IDAS-PRO-Kernsystem

4.1 Generelle Anbindung mittels homogener SW-Schicht

Im Projekt IDAS-PRO sollten heterogene Komponenten (Sensoren, Effektoren, Lagedarstellung, Datenfusion) im Verbund zusammenwirken und mussten somit geeignet miteinander verbunden werden.

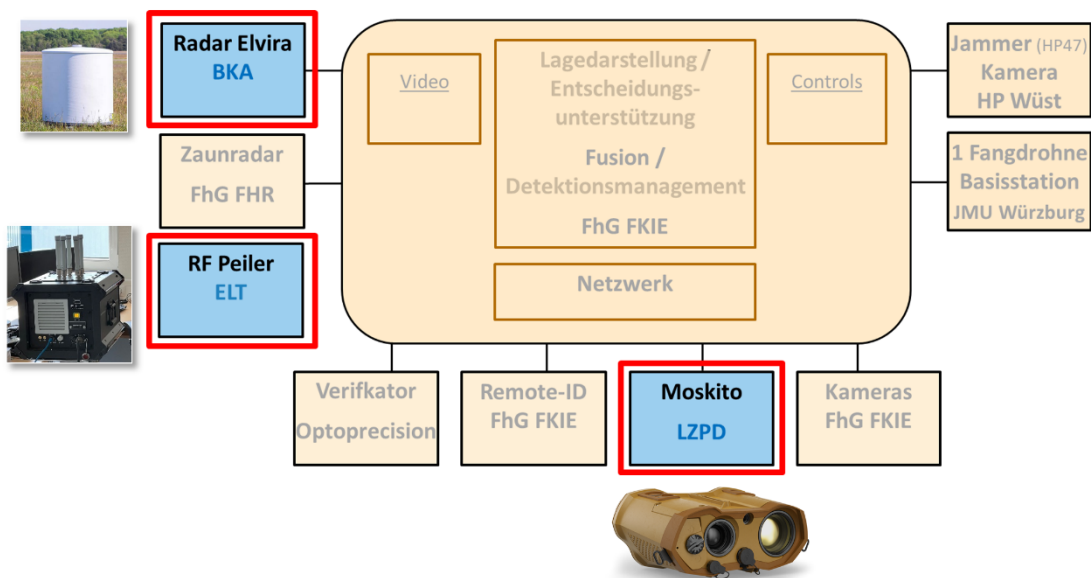


Abbildung 4.1: Übersicht der Komponenten in IDAS-PRO

Um eine robuste Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten zu ermöglichen, wurde als Messaging Framework „Active MQ“ eingesetzt, welches einen Publish-Subscribe-Mechanismus verwendet. Dies bedeutet, dass Komponenten auf einem sog. „Topic“ Nachrichten verschicken und andere Komponenten, die sich auf dieses „Topic“ registriert haben, diese Nachrichten empfangen. Die Verwaltung der einzelnen „Topics“ und die entsprechende Weiterleitung der Nachrichten wird durch einen Broker umgesetzt.

Um einen Sensor anzubinden, musste die dafür zu entwickelnde Software generell zwei Hauptaufgaben erfüllen:

1. Empfang der Sensordaten und deren Deserialisierung (Umwandlung in Objekte, deren interne Weiterverarbeitung einfacher und schneller ist als z.B. Text).
2. Umwandlung der Sensordaten gemäß IDAS-PRO-ICD und deren Weitergabe an den ActiveMQ-Broker.

Dies kann in einer für jeden Sensor separaten Software umgesetzt werden. Da die zweite Aufgabe jedoch für alle Sensoren gleich war, war es sinnvoller, die heterogenen Sensoren durch eine gemeinsame Softwareschicht (zwischen Sensoren und ActiveMQ-Broker) anzubinden, wobei die Bearbeitung der Hauptaufgaben in einzelnen Softwaremodulen geschieht. Durch die Verwendung einer modularen Softwarestruktur wird auch die Testbarkeit und Wartbarkeit der gesamten Software verbessert. Zusätzlich ist eine spätere Erweiterung (Anbindung eines neuartigen Sensors) mit nur geringem Aufwand möglich.

Die generelle Verwendung einer homogenen Softwareschicht zur Anbindung der heterogenen Sensoren ist in der folgenden Abbildung dargestellt:

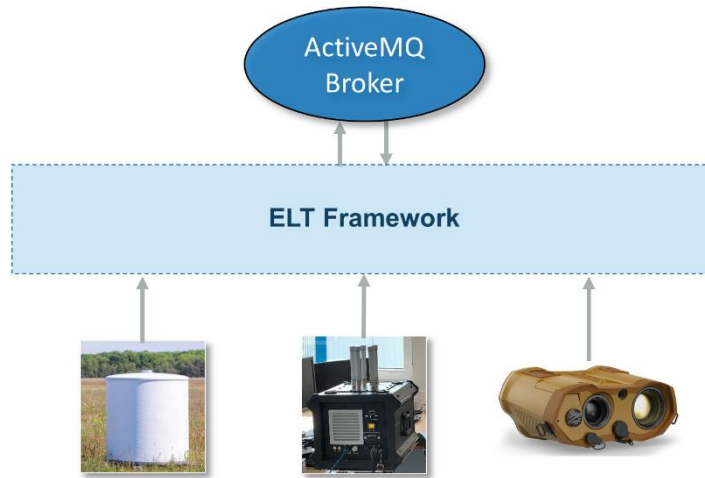


Abbildung 4.2: Anbindung der Sensoren mittels homogener Softwareschicht

Für diese Softwareschicht wurde als Grundlage das sogenannte „ELT Framework“ verwendet. Dabei handelt es sich um ein von ELT entwickeltes Software-Framework, welches eine dezentrale Mikroservice-Architektur aufweist. Das Framework stellt wichtige Funktionalitäten - wie z.B. einheitliche Kommunikation, Logging, GUI-Mechanismus - global zur Verfügung. Neue Softwaremodule werden als sog. Plugins in das Framework eingefügt, wobei ein Plugin entweder als Backend- (reine Datenverarbeitung) oder als GUI-Anwendung (Datenverarbeitung und Darstellung mittels Userinterface) innerhalb des Frameworks verarbeitet wird.

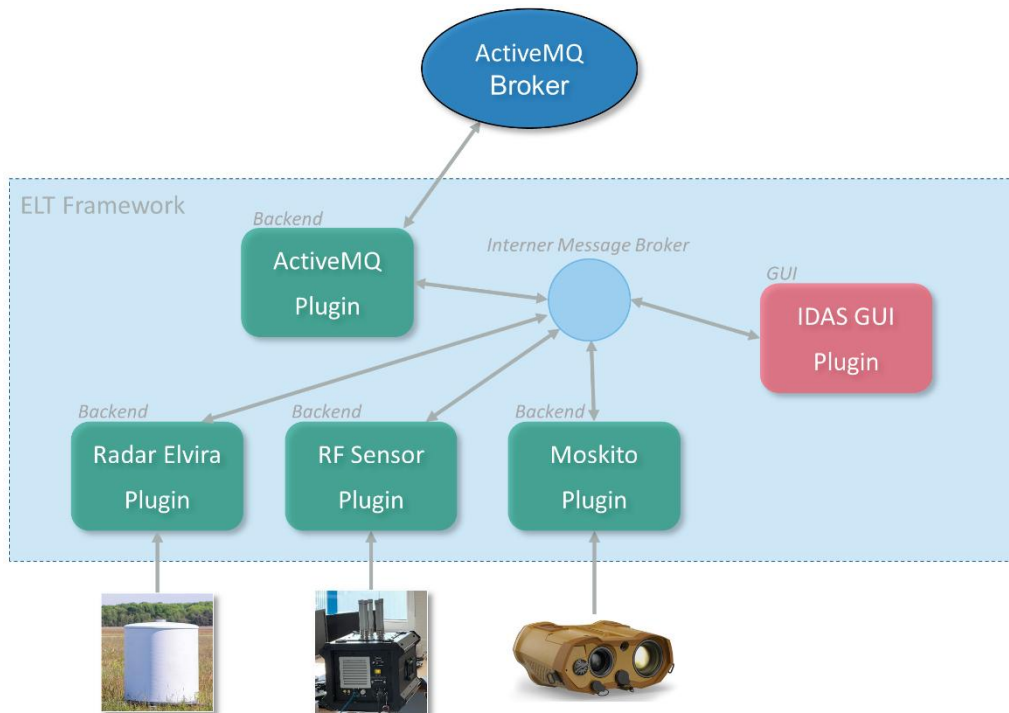


Abbildung 4.3: Architektur der für IDAS-PRO entwickelten Softwareschicht

Die Architektur der von ELT für IDAS-PRO entwickelten Softwareschicht besteht aus dem ELT Framework mit fünf verschiedenen Plugins: Für jeden Sensor gibt es ein eigenes Backend-Plugin, welches jeweils den Empfang der Sensordaten und deren Deserialisierung steuert. Diese Daten werden über einen internen Message Broker an das ActiveMQ-Backend-Plugin weitergeleitet, in dem die Nachrichten in das IDAS-PRO-Format umgewandelt und an den ActiveMQ-Broker geschickt werden. Es ist darüber hinaus möglich, Nachrichten anderer IDAS-PRO-Komponenten und -Teilnehmer zu empfangen, zu verarbeiten und - falls erforderlich - über die Backend-Plugins den Sensoren zu übermitteln. Zusätzlich wurde zur Verifikation auch ein GUI-Plugin entwickelt, mit dessen Hilfe der Benutzer graphisch den Verbindungsstatus der drei Sensoren sowie die konkreten Sensordaten angezeigt bekommt. Außerdem werden die auf den verschiedenen Topics über den ActiveMQ-Broker übermittelten Nachrichten des Gesamtsystems angezeigt. Die Architektur der für IDAS-PRO entwickelten Softwareschicht ist in Abbildung 4.3 dargestellt.

4.2 Finalisierung der ICD-Anbindung

Verschiedene Messages der ICD waren noch nicht implementiert. Dies betraf vor allem die Komponenten, welche beim ersten Feldtest nicht vorhanden waren. Außerdem wurden zwischen Feldtest 2 und 3 Änderungen an der ICD vorgenommen, weshalb nun auch berücksichtigt werden mussten.

4.2.1 Durchgeführte Arbeiten

Nachfolgend werden die durchgeführten Arbeiten aufgelistet:

- 1) Implementierung der fehlenden Messagetypen im Hinblick auf die Geräte, welche beim ersten Feldtest abwesend waren.
- 2) Implementierung von durch die ICD vorgeschriebenem Verhalten der Sensoren im Fehlerfall.
- 3) VPN-Test zusammen mit der Lagedarstellung im Hinblick auf bei Feldtest 2 aufgetretene Fehler.
- 4) Implementierung der Änderungen an der ICD, welche zwischen Feldtest 2 und Feldtest 3 eingeführt wurden.

4.2.2 Erkenntnisse aus Integrationstests und Messkampagnen

Während der Messkampagnen und der Integrationstests wurden die verschiedenen Sensoren erstmals zusammen mit den anderen Komponenten eingesetzt. Folgende Erkenntnisse wurden dabei erlangt:

- 1) Die Interpretation der ICD erfolgte zwischen den Projektpartnern oft unterschiedlich, weshalb während der Tests oft kleinere Anpassungen nötig waren. Dies betrifft speziell Datenfelder, welche von den Sensoren nicht bereitgestellt werden können. Oft führte es dazu, dass in der Lagedarstellung Daten nicht angezeigt wurden, obwohl diese vorhanden waren. So war z.B. in der Detektionsmessage des RF-Sensors eine Positionsangabe vorgesehen, welche der RF-Sensor als Richtungspeiler nicht liefern kann.
- 2) Im Laufe des dritten Feldtests ist ein Latenzproblem aufgetreten, welches dazu führte, dass Daten der Sensoren stark verzögert im Kernsystem ankamen und somit nicht berücksichtigt wurden.

- 3) Weitere Tests und Absprachen mit den Projektpartnern der Lagedarstellung und der Datenfusion waren nötig, um die Probleme zu beheben.

4.3 Anbindung doppelter Sensoren

Da ein IRIS-Radar und ein weiterer RF-Sensor mit dem 2. Feldtest verfügbar geworden sind, mussten deren Anbindungen an das IDAS-PRO-Kernsystem modifiziert werden.

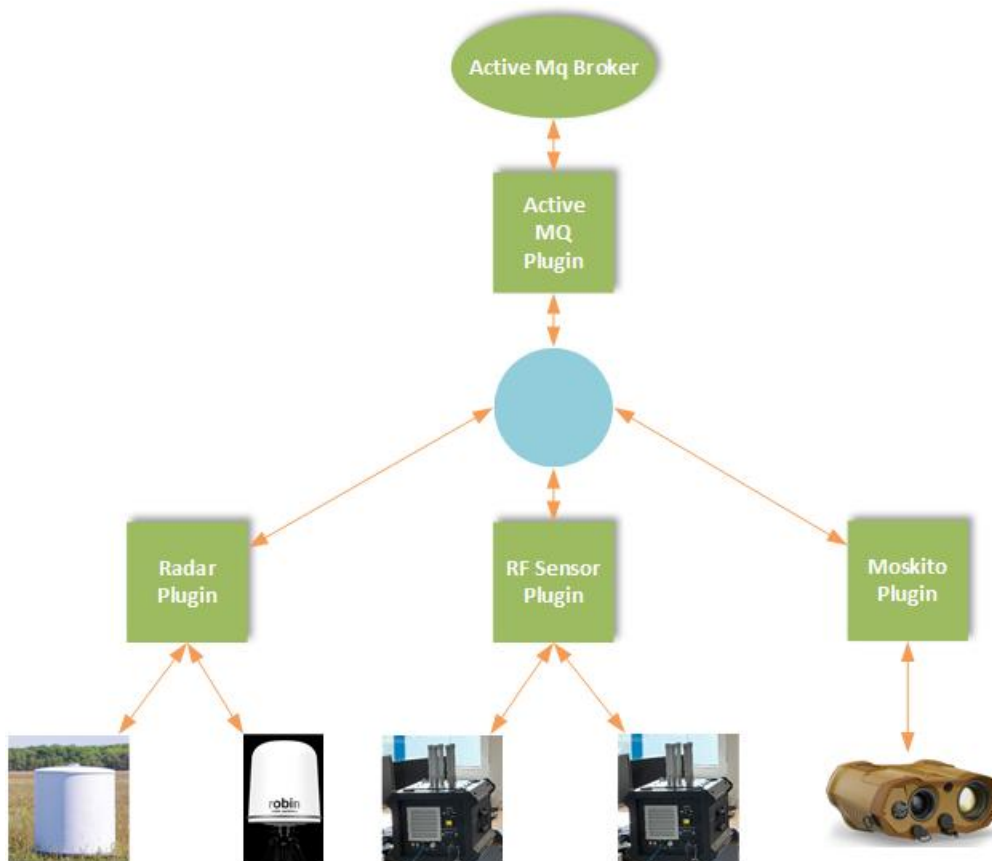


Abbildung 5.1: Struktur der Sensoranbindung.

4.3.1 Durchgeführte Arbeiten

Im Folgenden werden die wesentlichen Schritte der durchgeführten Arbeiten aufgeführt.

- 1) Bereitstellung von Radardaten durch die Landespolizei Brandenburg.
- 2) Zum Testen der Anbindung des IRIS-Radars wurden die bereitgestellten Radardaten mittels eines Scripts über eine TCP-Verbindung an das Elvira-Plugin übertragen. Die Tests verliefen zunächst erfolglos.

- 3) Zur Anbindung des IRIS-Radars wurde das Elvira-Plugin geringfügig angepasst. Ein wiederholter Test mithilfe der bereitgestellten Radardaten verlief erfolgreich.
- 4) Die Anbindung des zweiten RF-Sensors wurde mithilfe einer DJI-Fernbedienung mehrmals getestet. Diese Tests verliefen erfolgreich.
- 5) Damit mehrere Sensoren des gleichen Typs angebunden werden konnten, mussten die Plugins dementsprechend modifiziert werden. Da ein Aktor-Framework benutzen wird, wurde dies gelöst, indem für jeden Sensor ein eigener Aktor instanziiert wird, welcher direkt mit dem ActiveMQ-Broker kommuniziert.

4.4 Latenzproblem

Das im dritten Feldtest aufgetretene Latenzproblem führte dazu, dass gültige Detektionen insbesondere die Lagedarstellung und die Datenfusion zu spät erreichten. Somit wurden die Informationen ignoriert, da sie für die aktuelle Situation scheinbar keine Relevanz mehr haben. Außerdem führte es in manchen Fällen dazu, dass die Status- und Anmeldenachrichten der Sensoren das Kernsystem so spät erreichten, dass dazwischen liegende Detektionsnachrichten ignoriert wurden. In anderen Fällen markierte das Kernsystem den Sensor als offline, weil es zu lange keine Statusupdates mehr erhalten hatte. Dies hatte auch zur Folge, dass Detektionen ignoriert wurden.

4.4.1 Durchgeführte Arbeiten

Im Folgenden werden die wesentlichen Schritte der durchgeführten Arbeiten aufgeführt.

- 1) Das Latenzproblem wurde versucht zu reproduzieren. Dabei wurde dieselbe Hardware (Active MQ Server und Sensoranbindung) wie bei den Feldtests verwendet. Eine vergleichbare Datenlast wie bei den Feldversuchen wurde mittels Dummy-Daten simuliert. Eine Reproduktion der Latenzproblematik blieb aber erfolglos.
- 2) Eine versuchte Reproduktion durch einen VPN-Test mit der Lagedarstellung blieb auch erfolglos. Somit konnte nicht im Vorfeld weiterer Feldtests genau ermittelt werden, wo die Latenz entsteht.
- 3) Um weiteren Latenzen vorzubeugen, werden Detektionsnachrichten gesondert behandelt, da diese im Vergleich zu den anderen Nachrichten um ein Vielfaches häufiger erzeugt werden und somit dazu führen könnten, dass die Status- und Anmeldenachrichten das Kernsystem zu spät erreichen. Zusätzlich wurde das Logging ausgeschaltet.
- 4) Durch diese Maßnahmen konnte das Latenzproblem (bis auf ein kurzes Auftreten, welches durch einen Neustart der SW behoben wurde) weitestgehend behoben werden.

5 Feldversuche

5.1 Ergebnisse der Messkampagne "Feldtest 1" in Mosbach

Die Messkampagne „Feldtest 1“ fand vom 14. bis 18. August auf dem Gelände des TCRH (Training Center Retten und Helfen) in Mosbach statt. ELT brachte das folgende Equipment zur Messkampagne mit:

- Mercedes Sprinter mit zwei Arbeitsplätzen
- NTP-Zeitserver (Meinberg Lantime M300)
- ELT RF-Sensor
- Safran Moskito (Leihgerät des LZPD)
- Windows-PC
- CISCO-Switch

Das ELT Framework mit den für IDAS-PRO entwickelten Plugins lief auf dem Windows-PC. Nach Herstellung der LAN-Verbindung über den CISCO-Switch zum IDAS-PRO-Netzwerk (bereitgestellt vom Fraunhofer FKIE, auch Betreiber des ActiveMQ-Brokers), konnte das NTP-Zeitsignal für alle Teilnehmer bereitgestellt werden.

Der LRF Moskito wurde während der ganzen Messkampagne kabellos (nur verbunden mit einer Powerbank) eingesetzt, wobei das Bluetooth-Signal über eine externe Bluetooth-Antenne, die an den Windows-PC angeschlossen war, empfangen wurde. Somit konnte sich der Bediener des LRF Moskito frei bewegen.



Abbildung 5.1: Nutzung des LRF Moskito während der Messkampagne

Der RF-Sensor war auf einem Mast oben auf dem Sprinter angebracht, wobei der Mast für die Messungen bis auf eine Höhe von ca. 5m über dem Boden ausgefahren wurde. Die Daten des RF-Sensors wurden per LAN direkt an den Windows-PC übermittelt.

Die Daten des Radars Elvira wurden dahingegen per LAN über den CISCO-Switch empfangen. Auf diese Weise konnten von den Teilnehmern sowohl die direkten Radardaten als auch die in das IDAS-PRO-Format umgewandelten Daten empfangen werden. Das BKA hatte eine eigene Anzeigesoftware vor Ort, die von dieser Möglichkeit Gebrauch machte.

Insgesamt kann folgendes festgehalten werden:

- 1) Zum ersten Mal wurden Daten des echten Radars Elvira verarbeitet.
- 2) Die Anbindung der drei Sensoren an das IDAS-PRO-Kernsystem war erfolgreich. Die Daten wurden ohne Probleme an den ActiveMQ-Broker übermittelt und an andere Teilnehmer weitergeleitet.

- 3) IDAS-PRO-Nachrichten anderer Teilnehmer konnten empfangen werden, jedoch nicht alle. Weitere Tests sind dazu notwendig.
- 4) Mit Hilfe des Userinterfaces des IDAS-PRO GUI-Plugins konnten die Anbindung und Datenverarbeitung der drei Sensoren erfolgreich verifiziert werden.






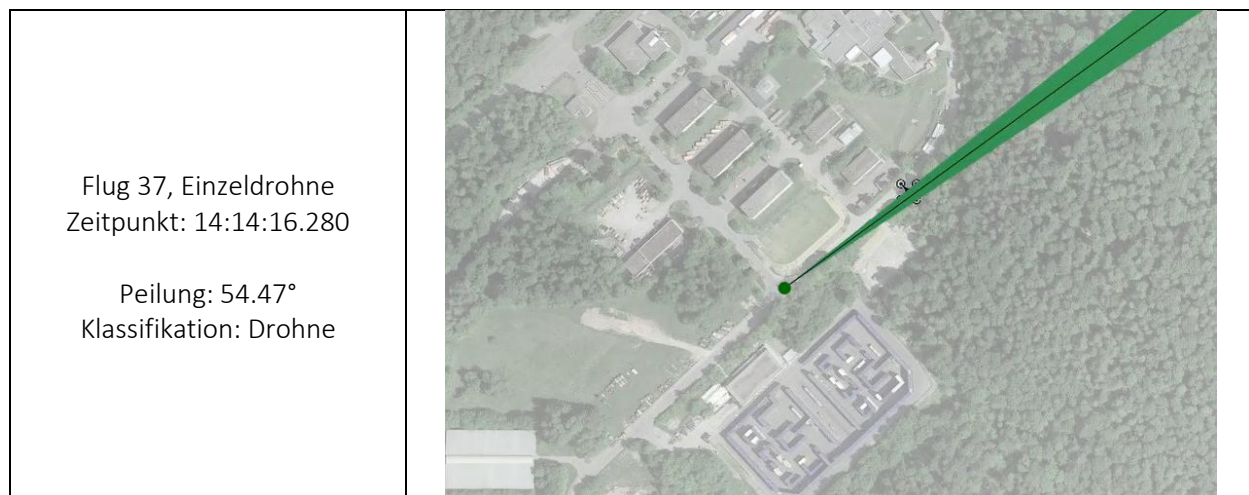
Abbildung 5.2: RF-Sensor, ELT-Sprinter und Radar Elvira während der Messkampagne

5.1.1 Beispielhafte Ergebnisse des RF-Sensors

Im Nachgang zur Messkampagne wurden für einige Drohnenflüge die aufgezeichnete Groundtruth und die zugehörigen Sensormessungen verglichen. Um dies zu erreichen, wurden die Daten der Groundtruth auf die zur Verfügung stehenden Zeitpunkte der Sensordaten linear interpoliert. Dabei zeigte sich, dass der RF-Sensor immer wieder gute Peilmessungen lieferte, andererseits aber auch diverse Falschmessungen generierte. Es kam gelegentlich auch zu einer falschen Klassifikation (z.B. Erkennung der Fernbedienung, Klassifizierung als Drohnensignal).

Beispielhaft sind nachfolgend Screenshots der Auswertung dargestellt.

Legende	 Standort RF-Sensor	 Groundtruth Drohne	 Peilung mit Messfehlerbereich
----------------	--	--	--




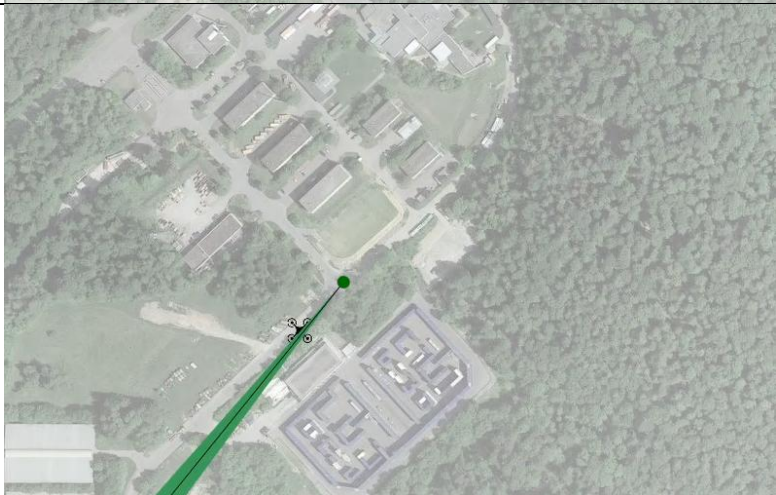
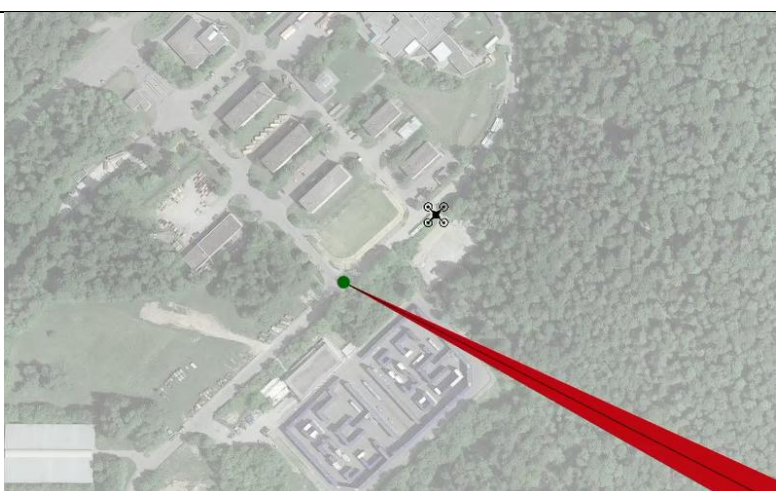
<p>Flug 37, Einzeldrohne Zeitpunkt: 14:14:54.048</p> <p>Peilung: 317.69° Klassifikation: Drohne</p>	
<p>Flug 37, Einzeldrohne Zeitpunkt: 14:15:14.867</p> <p>Peilung: 219.48° Klassifikation: Drohne</p>	

Tabelle 3 – Beispielhafte erfolgreiche Messungen des RF-Sensors

Beispiele für Falschmessungen und falsche Klassifikationen sind nachfolgend dargestellt:

<p>Flug 37, Einzeldrohne</p> <p>Peilung weder in Richtung Drohne noch Richtung RC (Multipath-Problem?)</p>	
--	--

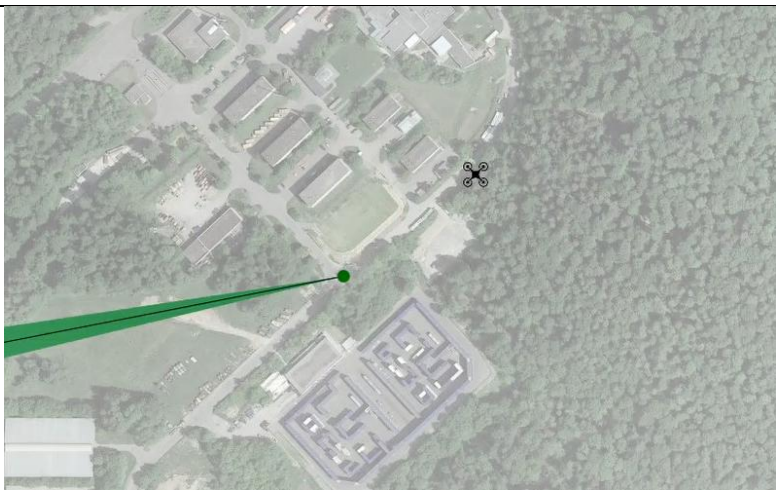
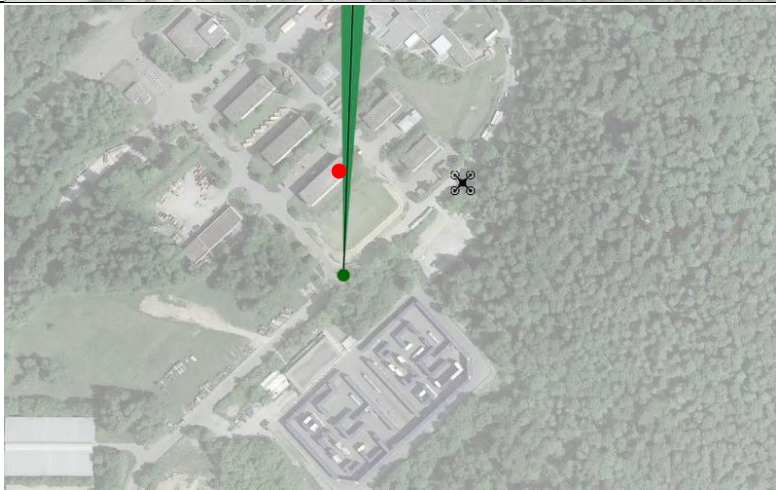



<p>Flug 37, Einzeldrohne</p> <p>Peilung weder in Richtung Drohne noch in Richtung RC (Multipath-Problem?)</p>	
<p>Flug 37, Einzeldrohne</p> <p>Peilung in Richtung RC-Standort, aber falsche Klassifikation</p> <p>● Standort Fernbedienung (RC)</p>	

Tabelle 4 – Beispielhafte falsche Messungen und Klassifikationen des RF-Sensors

5.1.2 Beispielhafte Ergebnisse des Radars Elvira und des LRF Moskito

Auch für das Radar Elvira und das Safran Moskito wurden für einige Drohnenflüge die aufgezeichnete Groundtruth und die zugehörigen Sensormessungen verglichen. Genau wie beim RF-Sensor wurden auch für diese Auswertung die Daten der Groundtruth auf die zur Verfügung stehenden Zeitpunkte der Sensordaten linear interpoliert. Das Radar lieferte oftmals gute Messungen (genauer: Tracks) der Drohnen. Mit dem LRF Moskito konnten auch einige gute Messungen erzielt werden. Bei letzterem Sensor bestand die Herausforderung jedoch darin, fliegende Drohnen mit dem Gerät zu vermessen, da nur eine geringe Abweichung keine gültige Messung lieferte, insbesondere wenn der Laserstrahl vorbei an der Drohne in den Himmel zeigte. Es bedurfte einer ruhigen Hand und Übung, um gültige Messungen zu erzielen.

Beispielhaft sind nachfolgend Screenshots der Auswertung dargestellt.

Legende	 Messung LRF Moskito	 Groundtruth Drohne	 Radarmessung (Track)
----------------	---	--	--

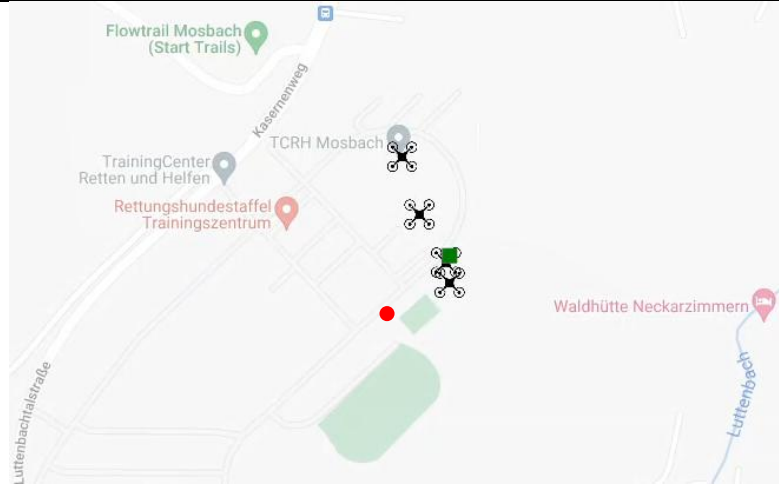
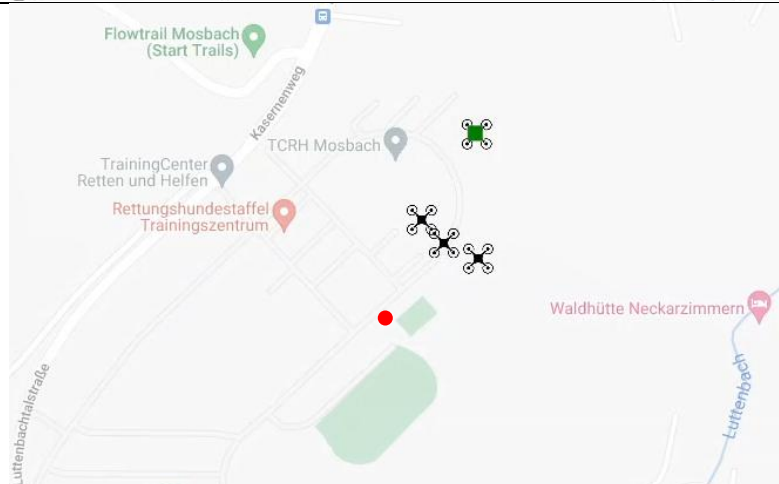

<p>Multiflug 46/47/48/49</p> <p>Messung im Nahbereich (ca. 100m) durch LRF Moskito</p> <p>● Standort LRF Moskito</p>	
<p>Multiflug 46/47/48/49</p> <p>Messung im mittleren Bereich (ca. 200m) durch LRF Moskito</p> <p>● Standort LRF Moskito</p>	
<p>Multiflug 46/47/48/49</p> <p>Erfolgreiche Messung auch in größerer Distanz (>500m) durch LRF Moskito möglich</p> <p>● Standort LRF Moskito</p>	

Tabelle 5 – Beispielhafte Messungen des LRF Moskito


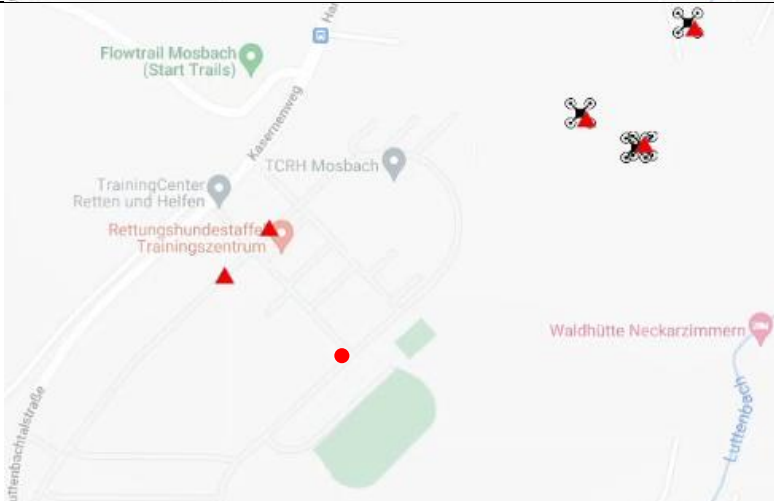

<p>Multiflug 46/47/48/49</p> <p>Tracks aller vier Drohnen</p> <p>● Standort Robin Radar Elvira</p>	
<p>Multiflug 46/47/48/49</p> <p>Tracks der Drohnen, aber hier nur ein Track für zwei benachbarte Drohnen</p> <p>● Standort Robin Radar Elvira</p>	
<p>Multiflug 46/47/48/49</p> <p>Keine Tracks für Drohnen im Nahbereich des Sensors</p> <p>● Standort Robin Radar Elvira</p>	

Tabelle 6 – Beispielhafte Messungen des Radars Elvira

5.2 Ergebnisse der Messkampagne „Feldtest 2“ in Roth

Die Messkampagne „Feldtest 2“ fand vom 22. bis 26. April 2024 auf dem Gelände der Otto-Lilienthal-Kaserne in Roth (auch Standort der Hubschrauberstaffel der bayrischen Polizei) statt. ELT brachte das folgende Equipment zur Messkampagne mit:

- Mercedes Sprinter mit zwei Arbeitsplätzen
- ELT RF-Sensor (einsatzbereit)
- zweiter ELT RF-Sensor (nicht einsatzbereit, nur für Testmessungen)
- Safran Moskito (Leihgerät des LZPD)
- Workstation (Windows-PC)
- Laptop
- CISCO-Switch

Das ELT-Framework mit den für IDAS-PRO entwickelten Plugins lief auf der Workstation im Van sowie eine zweite Backend-Komponente auf dem Laptop. Nach Herstellung der LAN-Verbindung über den CISCO-Switch zum IDAS-PRO-Netzwerk, konnten die Sensordaten über ActiveMQ für alle Teilnehmer bereitgestellt werden. Das NTP-Signal wurde diesmal vom Fraunhofer FKIE im Netzwerk bereitgestellt.

Der Laser-Range-Finder (LRF) Moskito wurde während der ganzen Messkampagne kabellos eingesetzt, wobei das Bluetooth-Signal über eine externe Bluetooth-Antenne, die an den Windows-PC angeschlossen war, empfangen wurde. Somit konnte sich der Bediener des LRF Moskito, welches über eine Powerbank betrieben wurde, frei bewegen.

Der einsatzbereite RF-Sensor war auf einem Mast oben auf dem Sprinter angebracht, wobei der Mast für die Messungen bis auf eine Höhe von ca. 5m über dem Boden ausgefahren wurde. Die Daten des RF-Sensors wurden per LAN direkt an den Windows-PC übermittelt. Der nur für Testmessungen mitgebrachte zweite RF-Sensor wurde auf einem Dreibein in unmittelbarer Nähe des Sprinters angebracht.

Die Daten des Elvira- sowie des Iris-Radars wurden per LAN empfangen, von jeweils einer Backend-Komponente verarbeitet und anschließend über ActiveMQ an das IDAS-PRO-Kernsystem weitergeleitet.

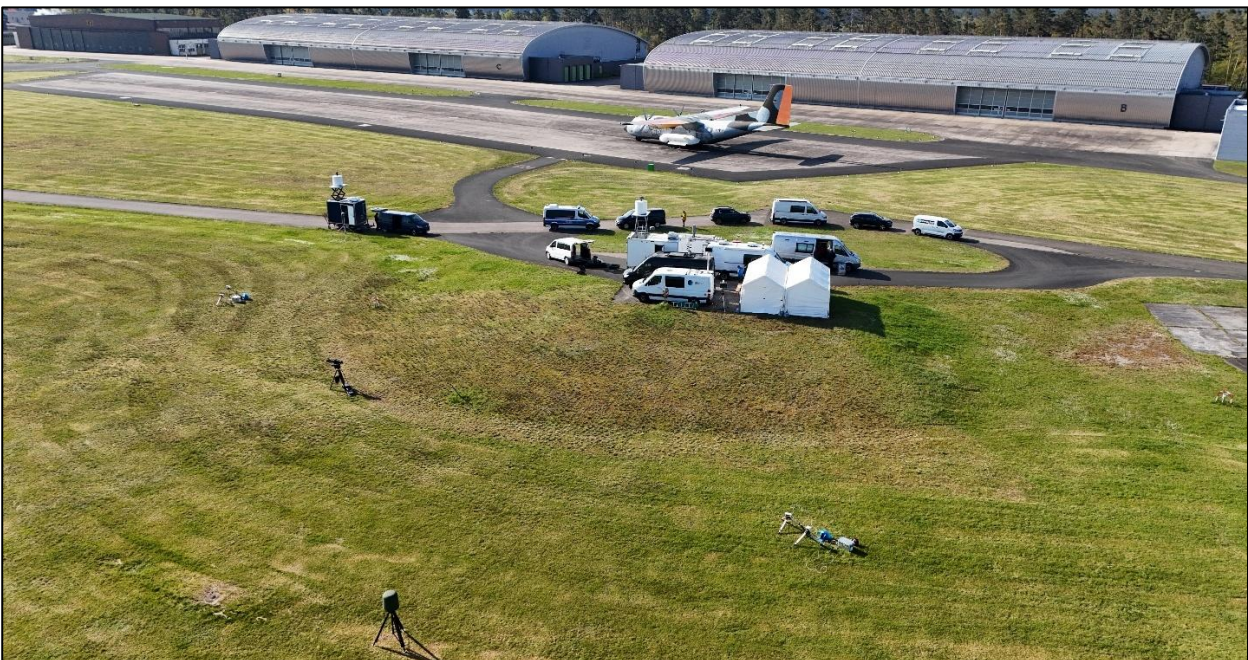


Abbildung 5.3: Aufstellungsorte der Sensoren (auf und um den „Feldherrenhügel“) in Roth (Feldtest 2)





Insgesamt können folgende Beobachtungen festgehalten werden:

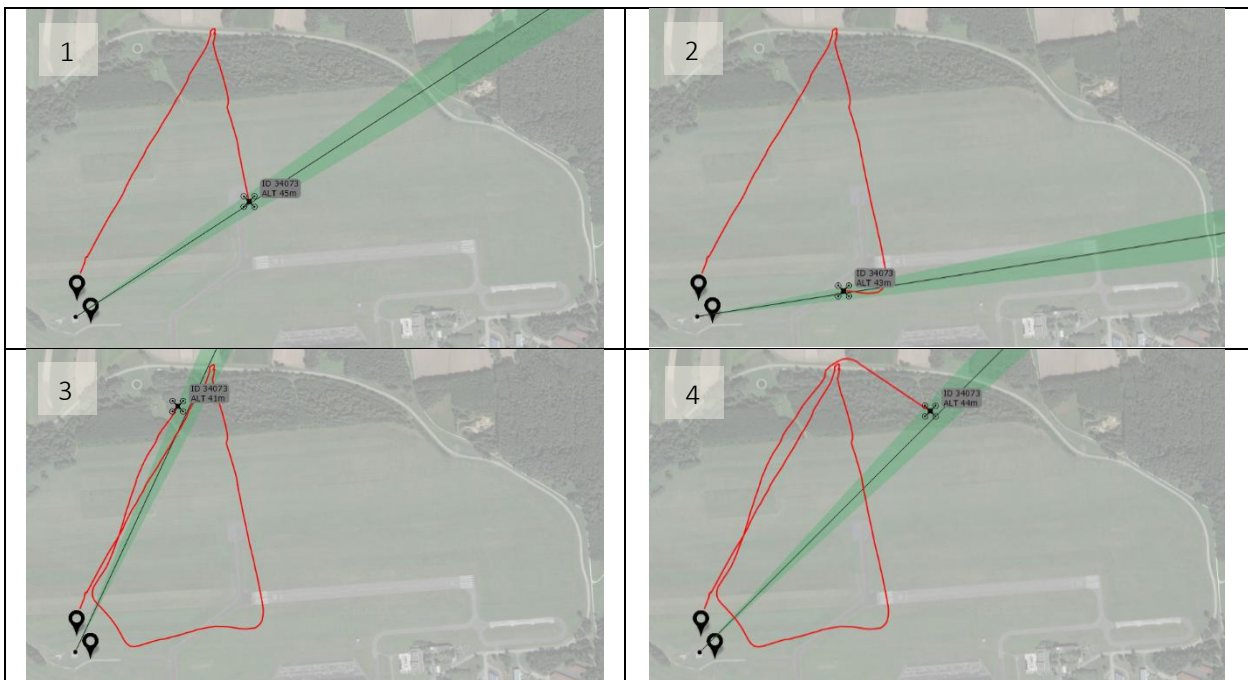
- 5) Um die doppelten Radarsensoren an das IDAS-PRO-System über ActiveMQ anzubinden, lief eine Backend-Komponente des ELT-Frameworks auf der Workstation im Fahrzeug und die zweite Backend-Komponente auf einem Laptop.
- 6) Analog zum ersten Feldtest in Mosbach konnten der einzelne RF-Sensor von ELT, die beiden Radare der Fa. Robin (Elvira und der Nachfolger Iris) sowie der LRF Moskito an das IDAS-PRO-Kernsystem ohne Probleme angebunden werden.
- 7) Der zweite RF-Sensor war zwar im zusammengebauten Zustand dabei, war jedoch nicht einsatzfähig. Es wurden diverse Testmessungen durchgeführt und Daten aufgezeichnet.
- 8) Der eingesetzte RF-Sensor lieferte oftmals gute Peilungen einer Drohne. Wurden zwei Drohnen eingesetzt, konnten oftmals beide Drohnen detektiert und deren Peilungen bestimmt werden. Beispielhafte Ergebnisse sind im nächsten Abschnitt aufgeführt.

5.2.1 Beispielhafte Ergebnisse des RF-Sensors

In Tabelle 7 sind beispielhafte Peilungen einer Drohne gezeigt. Der Drohnenflug fand am 25.04.2025 statt (Flug 15). Zu sehen ist - neben den Peilungen - der durchgehende Radartrack des Zieles (rote Linie, Track des Iris-Radars). Der gesamte Flug dauerte ca. 20min. Während des gesamten Fluges lieferte der RF-Sensor sehr viele genau Peilungen.

Legende

	Standort RF-Sensor		Standort Radar		Radartack der Drohne		Peilung mit Messfehlerbereich
---	--------------------	---	----------------	---	----------------------	--	-------------------------------



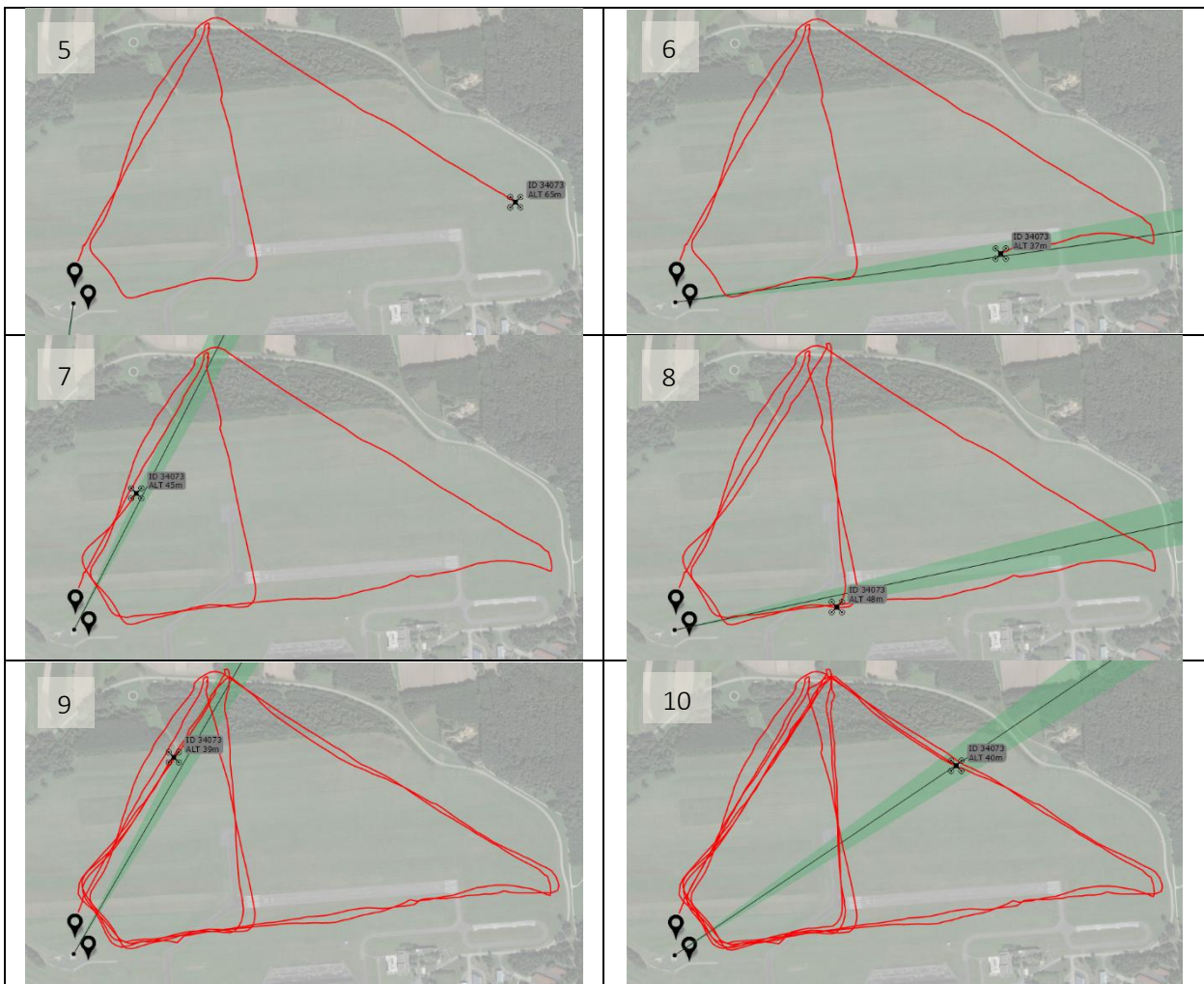


Tabelle 7 – Beispielhafte Peilungen des RF-Sensors während eines langen Drohnenflugs (Feldtest 2)

Interessant waren auch Situationen, in denen mehrere Drohnen in der Luft waren. Eine solche Situation ergab sich z.B. zu Beginn des Fluges 15 am 25.04.2025. Zwei Drohnen starteten in der Nähe des Feldherrenhügels. Die eine Drohne begab sich auf den Weg zu Dreiecksflügen und die zweite Drohne entfernte sich schnell nach Osten zu einem Reichweitentest. Beispielhafte Peilerggebnisse des RF-Sensors sind in Tabelle 8 dargestellt. Der RF-Sensor detektierte die beiden Drohnen im Spektrum und lieferte entsprechende Peilungen in die beiden Richtungen.



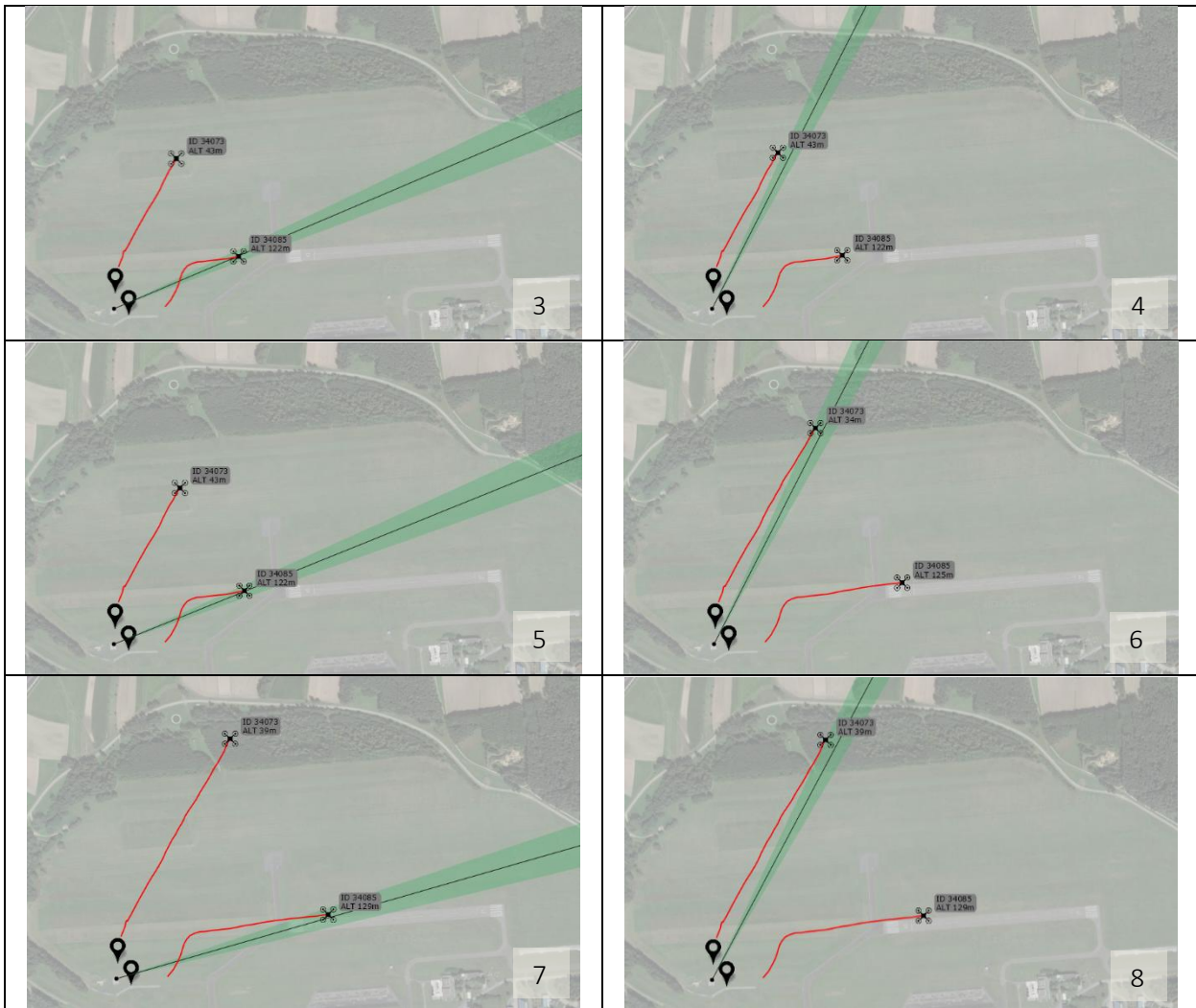





Tabelle 8 – Peilungen des RF-Sensors bei Detektion zweier Drohnen (Feldtest 2)

5.2.2 Reichweitentest mit RF-Sensor

Neben vielen Einzelflügen mit unterschiedlichen Formationen wurden auch mehrere Flüge durchgeführt, um die Reichweite der einzelnen Systeme zu untersuchen. Dazu flog eine Drohne in östliche Richtung zum entferntesten Wegpunkt (Entfernung zum Feldherrenhügel: ca. 4km), um dann wieder in Richtung Flugfeld zu fliegen.

In der nachfolgenden Tabelle 9 sind beispielhaft Ergebnisse des RF-Sensors für einen solchen Reichweitentest dargestellt. Unter den dortigen Bedingungen (nur eine Drohne, ebenes Gelände, kaum Multipath durch Gebäude, direkte Sicht auf die Drohne) konnte die Richtung der Drohne bis zum äußersten Wegpunkt in 4,12km Entfernung mit dem RF-Sensor ermittelt werden.

Für die Darstellung der Ergebnisse wurde die Groundtruthinformation (aus dem GPS-Logger) der Drohne verwendet.

Legende	 Standort RF-Sensor	 Groundtruth Drohne	 Peilung mit Messfehlerbereich
----------------	--	--	--






24.04.25, Flug 5, Entfernung: 3,18km	
24.04.25, Flug 5, Entfernung: 3,45km	
24.04.25, Flug 5, Entfernung: 3,96km	
24.04.25, Flug 5, Entfernung: 4,01km	
24.04.25, Flug 5, Entfernung: 4,12km	

Tabelle 9 – Reichweitentest und Peilungen des RF-Sensors (Feldtest 2)

5.3 Ergebnisse der Messkampagne "Feldtest 3" in Roth

Die Messkampagne „Feldtest 3“ fand vom 16. bis 20. September 2024 wieder auf dem Gelände der Otto-Lilienthal-Kaserne in Roth statt. ELT brachte das folgende Equipment zur Messkampagne mit:

- Mercedes Sprinter mit zwei Arbeitsplätzen
- zwei ELT RF-Sensoren
- Safran Moskito (Leihgerät des LZPD)
- Workstation (Windows-PC)
- Laptop
- CISCO-Switch

Das ELT-Framework mit den für IDAS-PRO entwickelten Plugins lief auf der Workstation im Van sowie eine zweite Backend-Komponente auf dem Laptop. Nach Herstellung der LAN-Verbindung über den CISCO-Switch zum IDAS-PRO-Netzwerk, konnten die Sensordaten über ActiveMQ für alle Teilnehmer bereitgestellt werden. Das NTP-Signal wurde vom Fraunhofer FKIE im Netzwerk bereitgestellt.

Wie bei den vorangegangenen Feldtests wurde der Laser-Range-Finder (LRF) kabellos eingesetzt über Bluetooth angebunden. Die Daten des Elvira- sowie des Iris-Radars wurden per LAN empfangen, verarbeitet und anschließend über ActiveMQ an das IDAS-PRO-Kernsystem weitergeleitet.




Der erste RF-Sensor war auf einem Mast oben auf dem Sprinter angebracht, wobei der Mast für die Messungen bis auf eine Höhe von ca. 5m über dem Boden ausgefahren wurde. Die Daten des RF-Sensors wurden per LAN direkt an den Windows-PC übermittelt. Der zweite RF-Sensor wurde auf einem Dreibein abgesetzt mehrere hundert Meter entfernt vom Feldherrenhügel aufgestellt und betrieben, wobei die Datenanbindung über das LORA-Funk-Protokoll hergestellt wurde.

Insgesamt können folgende Beobachtungen festgehalten werden:

- 1) Um die doppelt vorhandenen Systeme (Radar und RF-Sensor) an das IDAS-PRO-System über ActiveMQ anzubinden, lief eine Backend-Komponente des ELT-Frameworks auf der Workstation im Fahrzeug und die zweite Backend-Komponente auf einem Laptop.
- 2) Analog zu den beiden vorangegangenen Feldtests in Mosbach und Roth konnten alle Sensoren (RF-Sensoren von ELT, die beiden Radare Elvira und Iris sowie der LRF Moskito) an das IDAS-PRO-Kernsystem ohne Probleme angebunden werden.
- 3) Der zweite RF-Sensor wurde nicht auf dem Feldherrenhügel, sondern an einem abgesetzten Standort aufgestellt. Die Anbindung wurde über die LORA-Schnittstelle hergestellt.
- 4) Während der Flugversuche hatte sich immer wieder ein zeitliches Delay bei der Übermittlung der Sensordaten an das IDAS-PRO-Kernsystem ergeben. Dies führte dann dazu, dass Daten der von ELT angebundenen Sensoren in der IDAS-PRO-Lagedarstellung nicht mehr angezeigt wurden. Dieses Problem wurde erst am letzten Versuchstag erkannt, konnte aber aufgrund des späten Zeitpunkts nicht mehr eingehend untersucht werden. Es muss im Nachgang untersucht und die Ursache gefunden werden.
- 5) Der neu eingesetzte RF-Sensor lieferte immer wieder gute Peilungen einer Drohne. Jedoch zeigte der bereits beim vorherigen Feldtest eingesetzte RF-Sensor eine durchgewachsene Leistung, was mit dem o.g. zeitlichen Delay zusammenhängen könnte. Beispielhafte Ergebnisse sind im nächsten Abschnitt aufgeführt.

5.3.1 Beispielhafte Ergebnisse der zwei RF-Sensoren

Es ergaben sich oftmals stabile Peilungen einer Drohne durch den zweiten (abgesetzten) RF-Sensor. Dies ist beispielhaft in Tabelle 10 dargestellt. Warum die Peilungen des ersten Sensors – im Gegensatz zum vorangegangenen Feldtest – oftmals nicht in Richtung Drohne zeigten, muss untersucht werden.

Legende	 Standort RF-Sensor	 Groundtruth Drohne	 Peilung mit Messfehlerbereich

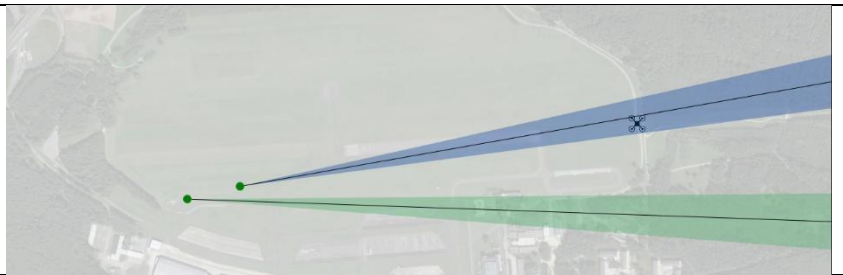
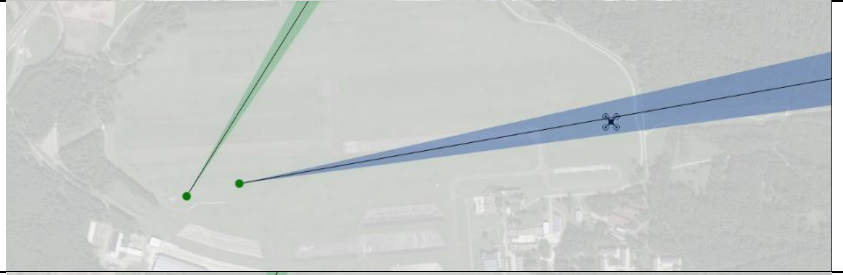



19.09.2025, Flug 42 14:57:36.549	
19.09.2025, Flug 42 14:57:50.809	
19.09.2025, Flug 42 14:58:02.929	
19.09.2025, Flug 42 14:58:24.589	
19.09.2025, Flug 42 14:58:48.370	

Tabelle 10 – Beispielhafte Peilungen einer Drohne durch die beiden RF-Sensoren (Feldtest 3)

5.3.2 Weitere Beobachtungen

Der große Vorteil beim Einsatz zweier RF-Sensoren ist die Möglichkeit, bei geeigneter Geometrie zwischen den Sensoren und der Drohne nicht nur eine Richtungsschätzung, sondern beim Schnitt der Peilungen auch eine genaue Lokalisation des Zieles zu ermöglichen. Dies gelang jedoch nur wenige Male aufgrund von Problemen mit dem ersten RF-Sensor. Beispielhaft sind Peilungen in Tabelle 11 dargestellt.

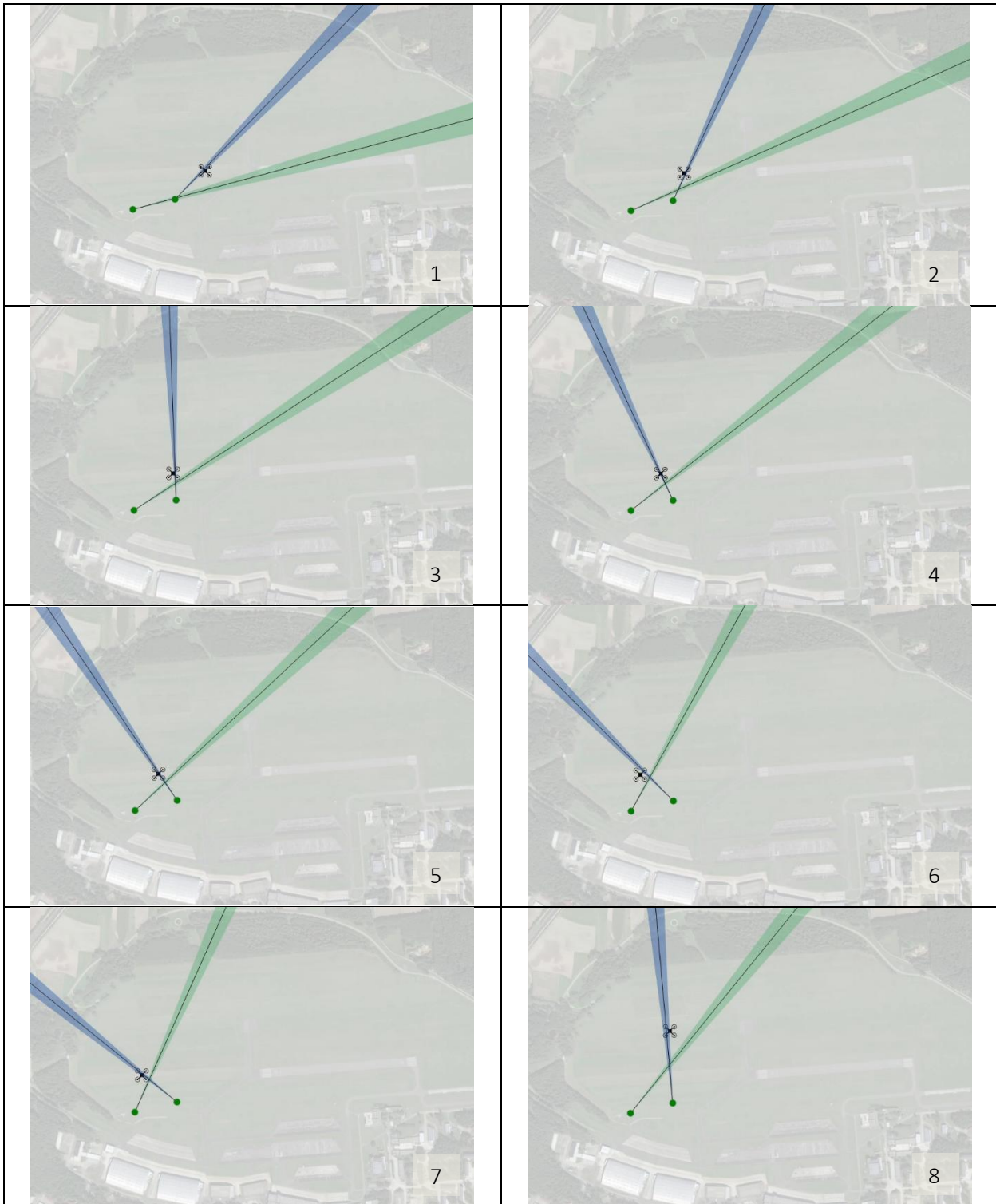


Tabelle 11 – Beispielhafte Peilungen einer Drohne mit Kreuzpeilung (Feldtest 3)

5.4 Ergebnisse der Messkampagne „Feldtest 4“ in Mosbach

Die Messkampagne „Feldtest 4“ fand vom 31. März bis 04. April 2025 wieder auf dem Gelände des TCRH (Training Center Retten und Helfen) in Mosbach statt. ELT brachte das folgende Equipment zur Messkampagne mit:

- Mercedes Sprinter mit zwei Arbeitsplätzen
- zwei ELT RF-Sensoren
- Safran Moskito (Leihgerät des LZPD)
- Workstation (Windows-PC)
- Laptop
- CISCO-Switch

Das ELT-Framework mit den für IDAS-PRO entwickelten und nochmals angepassten Plugins lief auf der Workstation im Van. Nach Herstellung der LAN-Verbindung über den CISCO-Switch zum IDAS-PRO-Netzwerk konnten die Sensordaten über ActiveMQ für alle Teilnehmer bereitgestellt werden. Das NTP-Signal wurde wie bei den vorherigen Feldtests vom Fraunhofer FKIE im Netzwerk bereitgestellt.

Der Laser-Range-Finder (LRF) Moskito wurde wie bei den vorangegangenen Feldtests kabellos eingesetzt und über Bluetooth angebunden. Auch die Daten des Elvira- und Iris-Radars wurden wieder per LAN empfangen, verarbeitet und anschließend über ActiveMQ an das IDAS-PRO-Kernsystem weitergeleitet.

Die einzige Änderung im Setup für ELT bestand darin, dass der zweite RF-Sensor nicht über eine LORA-Funkverbindung angebunden wurde, sondern per LAN. Das wurde durch die Tatsache ermöglicht, da dieser Sensor auf dem Flachdach eines sich in der Nähe befindlichen Gebäudes aufgestellt wurde, was eine Anbindung über ein langes LAN-Kabel ermöglichte.

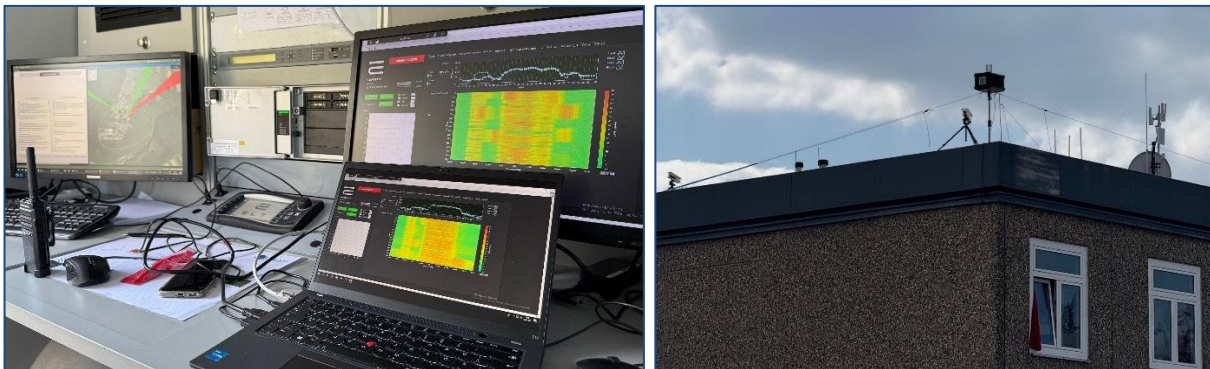


Abbildung 5.4: Arbeitsplatz im ELT-Van (links) und Aufstellort des abgesetzten RF-Sensors (rechts)

Durch die durchgeführten SW-Anpassungen konnten nun die Sensordaten sowohl der beiden RF-Sensoren als auch der beiden Radare über eine ELT-Framework-Instanz (auf der Workstation) verarbeitet werden.

Insgesamt können folgende Beobachtungen festgehalten werden:

- 1) Analog zu den drei vorangegangenen Feldtests in Mosbach und Roth konnten alle Sensoren (RF-Sensoren von ELT, die beiden Radare Elvira und Iris sowie der LRF Moskito) an das IDAS-PRO-Kernsystem ohne Probleme angebunden werden.
- 2) Das beim letzten Feldtest beobachtete Problem bzgl. eines zeitlichen Delays bei der Übermittlung der Sensordaten an das IDAS-PRO-Kernsystem konnte durch SW-Anpassungen seitens ELT behoben werden.

- 3) Beide RF-Sensoren lieferten durchweg gute Peilungen der Drohne. In den verschiedenen Flugversuchen konnten oftmals Kreuzpeilungen aufgrund der räumlich getrennten Sensoren erzeugt werden.

5.4.1 Beispielhafte Ergebnisse der beiden RF-Sensoren

Im Folgenden werden beispielhaft zwei Ergebnisse beschrieben: Zum einen die erfolgreichen Kreuzpeilungen vor dem Vorhandensein eines Radartracks zu Beginn des Drohnenflugs und zum anderen Kreuzpeilungen im Laufe des Flugs, als sich die Drohne zunächst weit entfernte und dann wieder zur Basis zurückkehrte. Bei den gezeigten Ergebnissen ist zu beachten, dass für die Angabe der Drohnenposition nicht die Groundtruth-Information genommen wurde, sondern die meist präzise Trackinformation des IRIS-Radars. Der Drohnenflug fand am 03.04.2025 statt.

Kreuzpeilungen vor Radartrackbildung

Die Tabelle 12 zeigt die beispielhaften Peilungen der beiden RF-Sensoren einer Drohne während der ersten Minute nach Start der Drohne vom Dach des Gebäudes. Es ist deutlich zu erkennen, dass in diesem Fall die beiden RF-Sensoren schon kurz nach dem Start der Drohne genaue Sensordaten lieferten und dass der Track des IRIS-Radars erst später gebildet werden konnte.

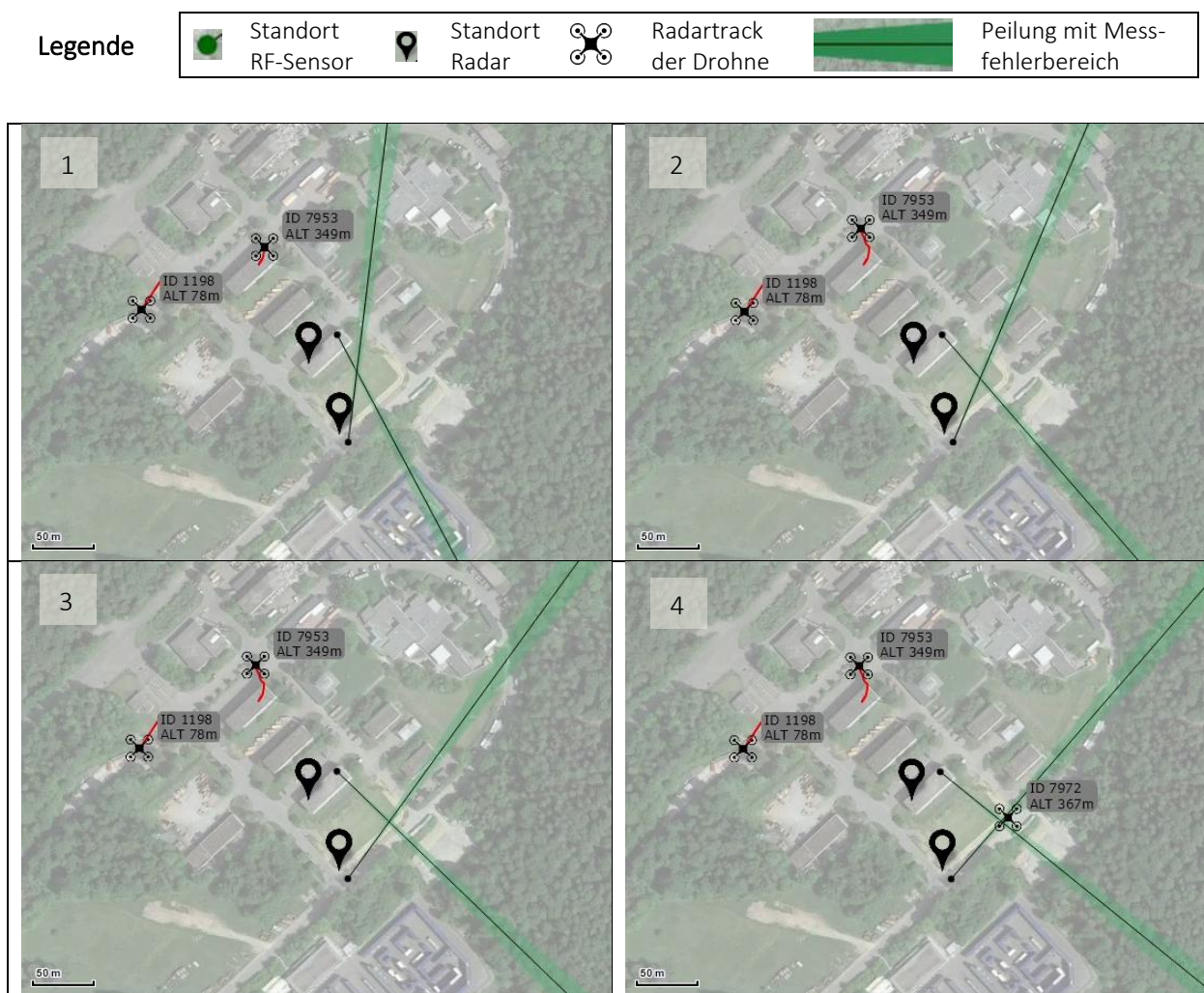






Tabelle 12 – Beispielhafte Peilungen der beiden RF-Sensoren zu Beginn des Drohnenflugs (Feldtest 4)

Diverse Kreuzpeilungen im Flugverlauf

In Tabelle 13 sind beispielhafte Peilungen der beiden RF-Sensoren der Drohne im weiteren Flugverlauf dargestellt. Während des gesamten Fluges lieferten die beiden RF-Sensoren sehr viele genaue Peilungen (meist Kreuzpeilungen) und konnten somit wertvolle Messungen für die Sensordatenfusion zur möglichst genauen Berechnung der Drohnenflugbahn beitragen.

Legende

 Standort RF-Sensor	 Standort Radar	 Radartrack der Drohne	 Peilung mit Messfehlerbereich
--	--	---	--

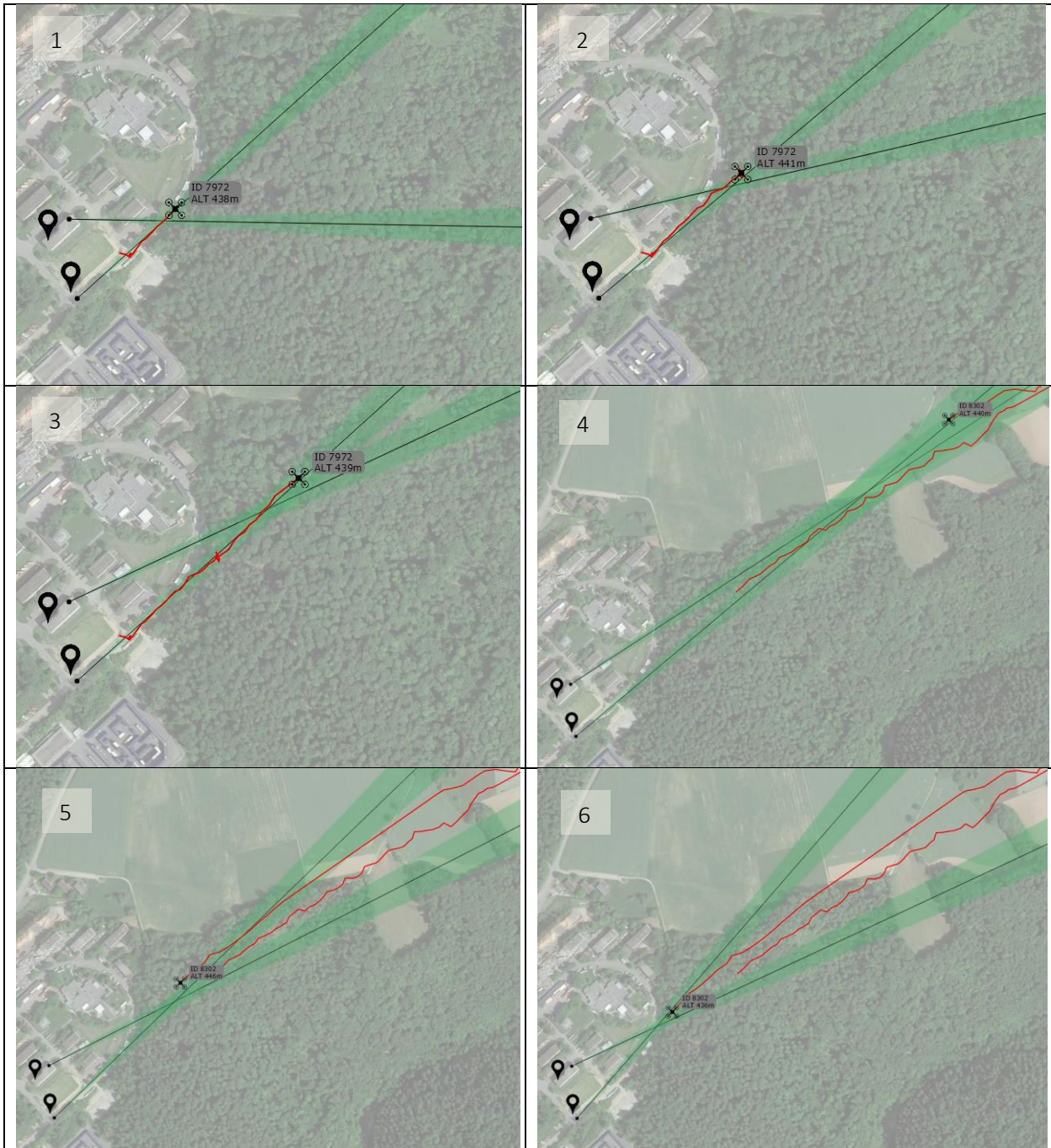


Tabelle 13 – Weitere beispielhafte Peilungen der beiden RF-Sensoren (Feldtest 4)

6 Verwertungsplan

Die im TV formulierte und in *Abbildung 6.1* dargestellte Verwertungsstrategie wird von ELT GmbH fortgeführt. Als Gesamtsystemanbieter wird ELT GmbH der Ansprechpartner und auch wirtschaftlicher Verwerter sein. Was Einzelkomponenten angeht, sind die industriellen Partner für die jeweilige wirtschaftliche Verwertung eigenständig verantwortlich.

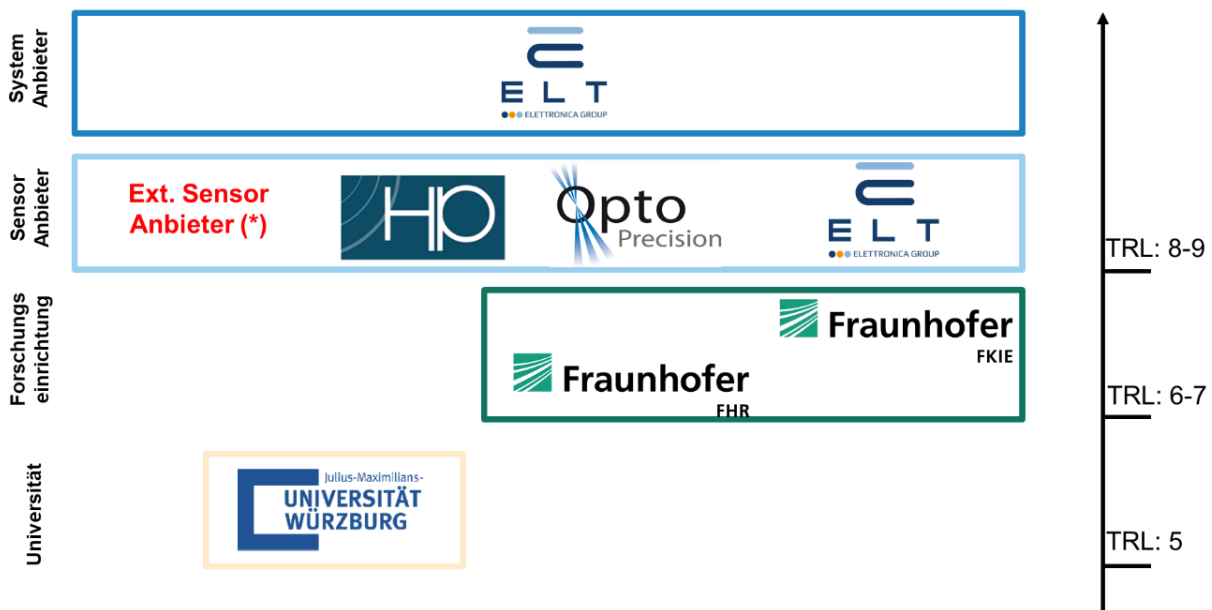


Abbildung 6.1: Darstellung der angestrebten Partnerbeziehung in der Verwertungsphase

Die Ergebnisse der Forschungsinstitute (FKIE/FHR) werden durch ELT GmbH begleitet und weiterentwickelt. Angestrebt ist eine Markteinführung in Q1/2026.

Als Zielmarkt wurden folgende Bereiche angestrebt:

- Zivile und Hybride Sicherheit
- Kritische Infrastrukturen
- Feldlagerschutz

Es wurden folgende Anwenderkreise identifiziert:

- Behörden mit Sicherheitsaufgaben (Drohnenabwehr)
- Private Sicherheits-Betreiber (Drohnenaufklärung)
- Bundeswehr gegen hybride Bedrohungen (Drohnenabwehr)

7 Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung

Im **Teil II** wurden die im Rahmen des Vorhabens durchgeführten Arbeiten ausführlich dargestellt. Dieser Paragraph dient dem Vergleich zur ursprünglichen Vorhabenbeschreibung und der Nachvollziehbarkeit der Verwendung der Zuwendung. Ergänzend zu den in diesem Bericht ausführlich dargestellten Inhalten können folgende Aspekte hervorgehoben werden: :

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises :

- Die Weiterentwicklung des ELT-Funkaufklärungssystems. Dies bedeutet einerseits die Verbesserung der Reichweite, der Detektionsfähigkeit und Klassifikation, andererseits die Erweiterung auf 2 Knoten. Letzteres erlaubt durch eine Kreuzpeilung die Lokalisierung der Drohne und Fernbedienung. Eine ausführliche Beschreibung ist in Kapitel 3 zu finden.
- Die intuitive Anbindung eigener und fremder Sensorik an das IDAS-PRO-Kernsystem. Insbesondere letzteres hat die Modularität und Skalierbarkeit der IDAS-PRO-Architektur bewiesen. Eine ausführliche Beschreibung ist in Kapitel 4 zu finden.
- Alle Konzepte und Architekturen wurden realitätsnahen Tests unterzogen. Mehrere Feldversuche wurden zwecks Test und Validierung (Kapitel 5) durchgeführt. Die gewonnenen Erkenntnisse und „Lessons Learned“ waren stets Input für nächste Entwicklungsstufen.

Die Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeiten

Die Komponenten besaßen zum Start des Projektes IDAS-PRO noch nicht den erforderlichen Status für eine industrielle Vermarktung. Die IDAS-PRO Projektarbeit war notwendig, um die zeitnahe Reifmachung eines unter realitätsnahen Bedingungen erprobten Prototyps zu erreichen.

Der voraussichtliche Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit des Ergebnisses - auch konkrete Planungen für die nähere Zukunft - im Sinne des fortgeschriebenen Verwertungsplans

Verweis auf §6.

Der während der Durchführung des Vorhabens dem Zuwendungsempfänger bekannt gewordenen Fortschritt auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

- Im Bereich Counter-UAS wurde das SAPIENT-Protokoll zu einem potenziellen NATO-Standard. In Großbritannien wurde es zum Standard für C-AUS anerkannt. Die Interoperabilität ist ähnlich wie bei IDAS-PRO, was einer Co-existenz beider Architekturen ermöglichte.
- Zahlreiche Hersteller von C-AUS Sensoren drängen auf den Markt. Ihre Anbindung an IDAS-PRO kann durch die offene Architektur sichergestellt werden.
- Die Bedrohung durch Drohnenschwärme ist im Vergleich zum IDAS-PRO-Start gewachsen. IDAS-PRO Multi-modaler und dezentraler Ansatz von IDAS-PRO kann bei dieser herausfordernden Aufgabe helfen.

Die erfolgten oder geplanten Veröffentlichungen des Ergebnisses

Verweis auf §2.2.

Nach Abschluss des Vorhabens wurden mehrere Pressemitteilungen sowie Einträge in Sozialen Medien zum Thema veröffentlicht. Darüber hinaus, wurde IDAS-PRO im Rahmen der EWLIVE 2025 in Estland vorgestellt.

Weitere Messauftritte und Vorträge sind in 2026 geplant.