

# Angewandte Kabinennetzwerke (PROTEG-O)

## Abschlussbericht

Fördervorhaben im Rahmen des  
Luftfahrtforschungsprogramms 2007–2013

20. Dezember 2013

Funkwerk Avionics GmbH (FAV)

**Vorhabenbezeichnung:** PROTEG-O  
**Förderkennzeichen:** 20K0905J  
**Laufzeit des Vorhabens:** 01.01.2010 bis 30.09.2013  
**Berichtszeitraum:** 01.01.2010 bis 30.09.2013  
**Berichterstatter:** Hubert Stich  
**Datum:** 20.12.2013  
**Unterschriften:**

# INHALT

<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>5</b>
1.1. ZWECK DIESES DOKUMENTS .....	5
1.2. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	5
<b>2. KURZFASSUNG</b> .....	<b>6</b>
<b>3. AUFGABENSTELLUNG</b> .....	<b>7</b>
3.1. GESAMTZIEL DES VERBUNDVORHABENS .....	7
3.2. BEZUG DES VORHABENS ZU DEN FÖRDERPOLITISCHEN ZIELEN.....	8
3.3. WISSENSCHAFTLICHE/TECHNISCHE ARBEITZIELE DES VORHABENS.....	8
3.3.1. <i>Überblick</i> .....	8
3.3.2. <i>Entwicklung Sensormodul</i> .....	10
3.3.3. <i>Entwicklung Zugangspunkt (Access Module)</i> .....	11
3.3.4. <i>Mitarbeit in den übrigen Arbeitspaketen</i> .....	12
<b>4. STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK ZU BEGINN DES VORHABENS</b> .....	<b>13</b>
4.1. STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK.....	13
4.2. BISHERIGE ARBEITEN DES ANTRAGSTELLERS.....	15
<b>5. PLANUNG UND ABLAUF</b> .....	<b>16</b>
5.1. ARBEITSSTRUKTURPLAN .....	16
I.1 ARBEITSSTRUKTURPLAN.....	<b>FEHLER! TEXTMARKE NICHT DEFINIERT.</b>
5.2. ZEITPLAN .....	17
5.3. RESSOURCENPLANUNG.....	18
<b>6. ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN</b> .....	<b>19</b>
<b>7. ERZIELTE ERGEBNISSE</b> .....	<b>20</b>
7.1. AP100 – PROJEKTMANAGEMENT.....	20
7.2. AP210 - EINSATZSZENARIEN UND RAHMEN.....	22
7.3. AP220 - ARCHITEKTUR UND SPEZIFIKATION.....	22
7.4. AP230 - ZULASSUNG UND REGULIERUNG .....	22
7.4.1. <i>Überblick</i> .....	22
7.4.2. <i>Überlegungen zur Auswahl der Arbeitsfrequenz</i> .....	23
7.4.3. <i>Kompatibilität mit anderen Flugzeugsystemen</i> .....	24
7.5. AP340 - SoC MODUL TEST, INTEGRATION .....	25
7.6. AP410 - SENSORMODUL.....	26
7.6.1. <i>Überblick</i> .....	26
7.6.2. <i>Sensorknoten "Temperaturmessung"</i> .....	27
7.6.3. <i>Sensormodul Türüberwachung</i> .....	29
7.7. AP420 - ACCESS MODUL (WDC).....	32
7.8. AP430 - KOMMUNIKATIONSSOFTWARE .....	36
7.9. AP440 - APPLIKATION .....	37
7.9.1. <i>Überblick</i> .....	37
7.9.2. <i>Anwendungssoftware Temperaturmessung</i> .....	38
7.9.3. <i>Anwendungssoftware Türüberwachung</i> .....	39
7.10. AP510 - LABORTTEST .....	39
7.11. AP520 - FLIGHT TEST.....	40
7.12. AP530 - VERIFIKATION .....	40
7.13. ABSCHLUSSBETRACHTUNG.....	42
<b>8. VERWERTBARKEIT DER ERGEBNISSE</b> .....	<b>43</b>
<b>9. FORTSCHRITT BEI ANDEREN STELLEN</b> .....	<b>44</b>

<b>10. VERÖFFENTLICHUNGEN, VORTRÄGE</b> .....	<b>45</b>
10.1. VERÖFFENTLICHUNGEN UND VORTRÄGE .....	45
10.2. LISTE DER ERSTELLTEN DOKUMENTATION .....	45
<b>ANHANG: LITERATURVERZEICHNIS</b> .....	<b>46</b>

## VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

BILD 1: ARBEITSSTRUKTURPLAN .....	16
BILD 2: ZEITPLANUNG LT. ZUWENDUNGSANTRAG .....	17
BILD 3: ZULÄSSIGE STÖRAUSSENDEN FÜR KABINENELEKTRONIK (RTCA DO-160, KLASSE M) .....	24
BILD 4: IMST SOC EVALUATION BOARD .....	25
BILD 5: GENERISCHE ARCHITEKTUR EINES SENSORKNOTENS .....	27
BILD 6: SENSORMODUL TEMPERATURMESSUNG .....	28
BILD 7: SENSORMODUL TEMPERATURMESSUNG OFFEN .....	28
BILD 8: SENSORMODUL TEMPERATURMESSUNG - PLATINEN UND BATTERIE .....	29
BILD 9: ZWEI BEISPIELHAFTE SENSORGEOMETRIEN .....	29
BILD 10: VORENTWURF SENSORKNOTEN "TÜRÜBERWACHUNG" .....	30
BILD 11: SENSORMODUL TÜRÜBERWACHUNG .....	31
BILD 12: SENSORMODUL TÜRÜBERWACHUNG MIT GEGENSTÜCK .....	32
BILD 13: LEITERPLATTENENTWURF TÜRÜBERWACHUNG .....	32
BILD 14: PRINZIPIELLER AUFBAU DES WDC.....	33
BILD 15: WIRELESS DATA CONCENTRATOR (WDC) .....	34
BILD 16: WIRELESS DATA CONCENTRATOR (WDC) .....	35
BILD 17: BASISPLATINE WDC (VORENTWURF) .....	35
BILD 18: SOFTWARE-KOMPONENTEN DES GESAMTSYSTEMS .....	38
BILD 19: DURCHLASSKURVE EINES FILTERS.....	39
BILD 20: SENDESPEKTRUM EINES WDC.....	40
BILD 21: PROTEG-O-HARDWARE (AUSWAHL).....	41

# 1. EINLEITUNG

## 1.1. Zweck dieses Dokuments

Dieses Dokument beschreibt die Arbeiten und Ergebnisse der Funkwerk Avionics GmbH (FAV) im Verbundvorhaben PROTEG-O (Angewandte Kabinennetzwerke).

## 1.2. Abkürzungsverzeichnis

AP	Arbeitspaket	ICAO	International Civil Aviation Organization
DO- <i>n</i>	RTCA Document <i>n</i>	PM	Projekt-Monat
EASA	European Aviation Safety Agency	RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics
ED- <i>n</i>	EUROCAE Standard <i>n</i>	SoC	System on Chip
ETSO	European Technical Standard Order (EASA)	SW	Software
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment	TSO	Technical Standard Order (FAA)
FAA	Federal Administration Authority	TU	Technische Universität
FAV	Funkwerk Avionics GmbH	WAIC	Wireless Avionics Intra-Communication
FE	Forschung und Entwicklung	WSN	Wireless Sensor Network. Drahtloses Sensor-Netzwerk
FPGA	Field Programmable Gate Array		
HW	Hardware		

## 2. Kurzfassung

Der Schwerpunkt des PROTEG-O Verbundvorhabens war die Entwicklung drahtloser Kabinen-Sensornetzwerke für den Einsatz in modernen Großraumflugzeugen zur Erfassung von Zustandsparametern einzelner Flugzeugkomponenten. Der Ansatz in PROTEG-O war die Realisierung einer anwendungsunabhängigen Netzwerk-Plattform und die Demonstration einiger Anwendungen dieser Plattform.

Funkwerk Avionics arbeitete schwerpunktmäßig an der Realisierung der Hardware-Plattformen für die drahtlosen Sensorknoten und den Zugangspunkt, der das Sensornetzwerk mit dem drahtgebundenen Kabinenmanagement-Netzwerk verbindet.

Das Vorhaben baute auf den Vorarbeiten auf, die Airbus zusammen mit anderen Partnern in verschiedenen Vorhaben durchgeführt hatte. Insbesondere wurden wesentliche Teile der Kommunikations- und Netzwerkmanagement-Software aus früheren Vorhaben zur Verfügung gestellt.

Das Teilvorhaben der Funkwerk Avionics war ursprünglich für den Zeitraum 01.01.2010-31.12.2012 geplant. Die Laufzeit wurde bis zum 30.09.2013 verlängert, da sich außerhalb des Einflussbereichs der Funkwerk Avionics Verzögerungen ergaben, die den zeitgerechten Abschluss der Arbeiten unmöglich machten.

Zum Ende des Projekts konnte die Funktionsfähigkeit der Netzwerk-Plattform anhand mehrerer Anwendungen erfolgreich demonstriert werden.

Die Arbeiten des Vorhabens waren Teil des Verbundvorhabens PROTEG-O unter der Koordination Airbus Operations GmbH, Finkenwerder. Weitere Projektpartner waren die Firma IMST sowie diverse Unterauftragnehmer der Fa. Airbus.

Während der Projektlaufzeit wurden auf Initiative von Airbus die Firmen TriaGnoSys, Diehl Avionik sowie BF Goodrich/UTAS in das Projekt eingebunden.

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundes erfolgte nicht.

## 3. AUFGABENSTELLUNG

### 3.1. Gesamtziel des Verbundvorhabens

Der Schwerpunkt des PROTEG-O Verbundvorhabens war die Entwicklung drahtloser Kabinen-Sensornetzwerke für den Einsatz in modernen Großraumflugzeugen zur Erfassung von Zustandsparametern einzelner Flugzeugkomponenten. Flugzeugkomponenten in diesem Sinne können entweder Flugzeugsysteme oder deren Einzelkomponenten, Systeme oder auch die Flugzeugstruktur sein. Zustandsparameter können z.B. physikalische Größen wie Temperatur, Schwingungen, mechanischer Stress oder auch Systemstatus wie Fehlermeldungen oder dergleichen sein. Diese werden im Allgemeinen heute durch drahtgebundene Systeme realisiert. Hier liegt großes Potential zur Vereinfachung der Installation gegenüber heutigen Einbauarten.

Des Weiteren bietet Sensorik in Kabine hervorragende Ansätze zur Verbesserung der Zufriedenheit der Passagiere und damit einen Wettbewerbsvorteil. Die Realisierung sensorgestützter Überwachung mittels klassischer drahtgebundener Methoden lässt sich hier nur begrenzt sinnvoll einführen, da diese zu erhöhtem Gewicht und damit zum Effizienzverlust des Flugzeuges beitragen würden.

Drahtlose Netzwerke haben das Potential, die existierende drahtgebundene, sensorgestützte Überwachung zu ersetzen. Dazu musste aber zunächst ihre Zuverlässigkeit und Sicherheit ausreichend untersucht werden. Dazu hat das von Airbus in Zusammenarbeit mit Partnern durchgeführte Vorgängerprojekt SWAN (Sensor Wireless Application Network) die entsprechenden Grundlagen untersucht. PROTEG-O CabWiSe führte diese Arbeiten fort, wobei der wesentliche neue technologische Ansatz die Realisierung als "System on Chip" ist.

Drahtlose Sensor-Netze als Systeme auf einem Chip sind ein Forschungsthema an der vordersten Front des technologisch Machbaren, insbesondere unter Betrachtung der Anforderungen im Flugzeug. Entscheidende Kriterien sind hier die hohe Verfügbarkeit, die Umweltbedingungen, die lange Lebensdauer und der Prozess der Zulassung von kundenspezifischen ICs für Flugzeuge. Die Ergebnisse lassen sich in andere Märkte und Anwendungen übertragen (z.B. Automobilindustrie). Einige Komponenten und Methoden der entwickelten Lösung haben das Potenzial, als geistiges Eigentum bzw. Patent eingetragen zu werden. Das Forschungsprojekt trägt somit zur Erhaltung und zum Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft bei.

Funkwerk Avionics war innerhalb des Verbundvorhabens für die gerätetechnische Umsetzung des Konzepts verantwortlich und in allen Phasen des Vorhabens von der Definition der Anforderungen und der Festlegung der Architektur bis zur Integration und Verifikation in einer realistischen Umgebung beteiligt. Die Schwerpunkte der eigenen Arbeiten lagen bei der Entwicklung von Sensor-Modulen für verschiedene Anwendungen sowie des Zugangsmoduls, mit dem das drahtlose Sensornetz an den Anwendungsserver angebunden wird.

## 3.2. Bezug des Vorhabens zu den förderpolitischen Zielen

Der Einsatz drahtloser Übertragungstechnologien in Flugzeugen ermöglicht Vereinfachungen in deren Entwicklung und Fertigung, da die Komplexität der elektrischen Leitungsbündel sinkt. Hierdurch sind Vereinfachungen bei Entwicklung und Fertigung künftiger Flugzeuge mit der damit verbundenen schnellere Erreichung der Marktreife und Verkürzung der Lieferzeiten zu erwarten. Die Kombination dieser drahtlosen Übertragungstechnologien mit Sensormodulen mit autarker Energieversorgung erlaubt zudem gewichtssparende Lösungen zur Zustandserfassung von Flugzeugkomponenten und -systemen, die drahtgebunden nicht möglich oder sinnvoll wären. Leichtere Flugzeuge gehen schonender mit Treibstoff um und tragen so zur Reduktion des Ausstoßes schädlicher Klimagase bei.

## 3.3. Wissenschaftliche/technische Arbeitsziele des Vorhabens

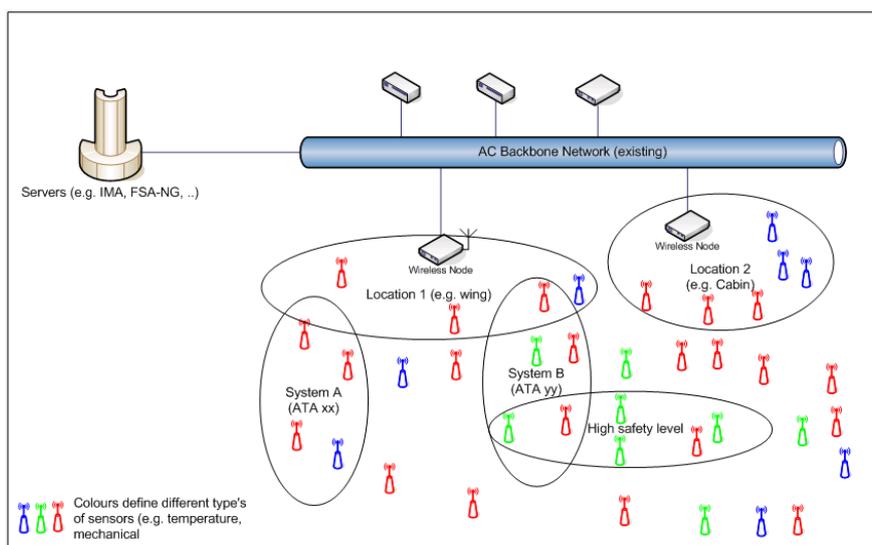
### 3.3.1. Überblick

Das FAV-Teilvorhaben innerhalb des PROTEG-O-Verbundes befasste sich mit den folgenden wissenschaftlichen und technischen Arbeitszielen:

- **Schwerpunkte/Verantwortliche Bearbeitung durch FAV:**
  - Redundanz und Ausfallsicherheit: Die Sensoren sind teilweise schwer oder gar nicht (z.B. als integrierte Komponente) austauschbar. Deswegen müssen sie besonders ausfallsicher entwickelt werden bzw. für kritische Elemente redundant ausgelegt sein.
  - Austauschbarkeit: Die Verringerung der Anzahl der Gerätevarianten soll durch Modulbauweise bzw. Plattformentwicklung erreicht werden
  - Entwicklung und Fertigung einer Verifikationsplattform: Bereitstellung der Sensormodule und der Zugangspunkte für die Validierung des Systemkonzepts
- **Mitarbeit/teilweise Bearbeitung durch FAV**
  - Untersuchung geeigneter Konzepte zur Minimierung des Leistungsverbrauchs der Sensormodule zur Ermöglichung autarker Sensoren auf Basis der SoC Technology und unter Nutzung eines neuen luftfahrtexklusiven Frequenzbandes mit niedrigen Störpegeln
  - Entwicklung eines neuen Protokolls zur Datenübertragung (PHY, MAC LLC) im neuen Frequenzspektrum
  - Autokonfiguration: automatische und dynamische Parametrisierung der Netzwerkkomponenten in Abhängigkeit der Zulassbarkeit (Sensorknoten, Access Nodes und Zugang zum Flugzeugnetzwerk)
  - Netzwerk-Topologie: automatische Adaption der Netzwerk-Topologie bei hinzukommenden oder wegfallenden Sensorknoten. Wesentliche Bestandteile sind hierbei Protokolle aus den Bereichen Ad-hoc Netzwerkmanagement und Routing.
  - Datensicherheit: Das Vorhaben beinhaltet eine Implementierung zur Datensicherheit. Insbesondere kleine eingebettete Systeme wie Sensoren werden derzeit kaum berücksichtigt. Im Rahmen des Vorhabens

entstehen Implementierungskonzepte zum Schutz vor einer Manipulation dieser Systeme.

- Frequenzregulierung: Ein Arbeitspaket beschäftigt sich mit der Fortführung regulatorischer Aktivitäten von drahtlosen Sensornetzwerktechnologien. Hier liegt der Schwerpunkt auf der Durchsetzung einer weltweit harmonisierten Frequenzzuweisung für Funknetze, welche innerhalb von Flugzeugen zum Einsatz kommen. Das Verbundvorhaben PROTEG-O ist mit diesem Anliegen in den relevanten internationalen Gremien (ITU, ICAO, CEPT) vertreten.
- Einsatz von Funknetzen: Hier wird insbesondere die Hochfrequenzausbreitung der neuen Frequenz in der Kabine sowie mögliche Interferenzen mit anderen Systemen innerhalb und außerhalb des Flugzeuges mit den Ergebnissen von SWAN abgeglichen. Erschließung neuer Frequenzbänder und Anwendungsgebiete (Flugzeugkabine) für drahtlose Sensornetze
- Entwicklung von Systemkonzepten und Architekturen: Ein besonders wichtiges technisches Arbeitsziel ist die Entwicklung eines Systemkonzeptes und einer daraus abgeleiteten Systemarchitektur, welche ein mögliches drahtloses Sensornetzwerk zur Datenüberwachung beschreibt.



**Abbildung 1: Gesamtsystemarchitektur**

Ein drahtloses Sensor-Netzwerk im Flugzeug besteht i.A. aus einer großen Anzahl von Sensoren, die drahtlos über eine Reihe von Zugangspunkten an das flugzeugseitig vorhandene drahtgebundene Netzwerk angeschlossen werden. Die Applikationssoftware läuft auf einem zentralen Server. Der Zugriff auf die Daten erfolgt über ein IP-Netzwerk, das üblichen kommerziellen Standards entspricht. Der proprietäre Übertragungsstandard zwischen den Zugangspunkten und den Sensoren ist somit für den Server und die Applikationssoftware nicht sichtbar, so dass dort im Prinzip keine speziellen Anpassungen erforderlich sind.

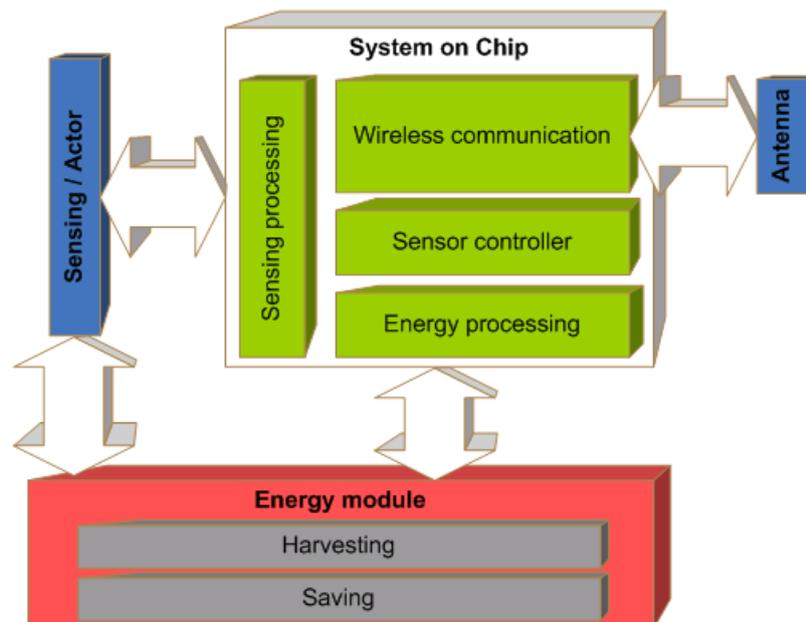
Die einzelnen Sensoren sind insbesondere bei sicherheitsrelevanten Anwendungen über mehrere Zugangspunkte erreichbar. Die Netzwerkorganisation erfolgt durch entsprechende Software im Zugangspunkt.

### 3.3.2. Entwicklung Sensormodul

Jeder Sensorknoten des Netzwerks besteht aus einem oder mehreren Sensoren, einem Energiemodul, einer oder mehreren Antenne(n) und dem eigentlichen Sensormodul.

Den Kern des Sensormoduls bildet der vom IMST realisierte SoC-Baustein. Dieser benötigt einige externe Komponenten für den Betrieb des Bausteins und die Realisierung der Funkschnittstelle (z.B. Filter). An das SoC können bestimmte Sensoren direkt angeschlossen werden, andere benötigen eine externe Beschaltung für den Betrieb. Als separates Modul wird ein Energiemodul benötigt.

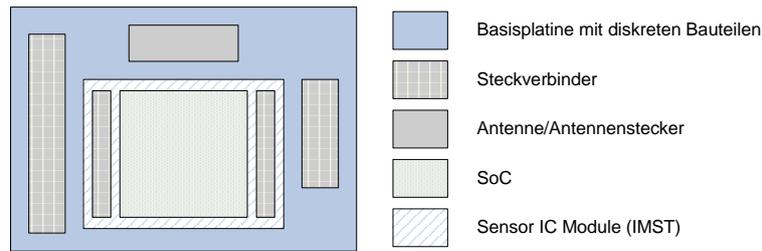
Die Antenne kann u.U. direkt auf dem Sensormodul realisiert werden oder - je nach Einbausituation - extern angeschlossen werden. Der elektromechanische Aufbau muss untersucht werden, da - je nach Anwendung - sehr unterschiedliche Anforderungen an die Bauform bestehen können. Ein wichtiges Thema für die Untersuchungen ist die Optimierung der Zuverlässigkeit.



**Abbildung 2: Gesamtarchitektur Sensorknoten**

Die Arbeiten von FAV zu diesem Thema wurden im Wesentlichen in AP410 durchgeführt. Zuarbeit erfolgte von IMST (Sensor IC Modul, Treibersoftware) und EADS (Kommunikationssoftware).

Die folgende Abbildung zeigt den prinzipiellen Aufbau des Sensormoduls.



**Abbildung 3: Möglicher prinzipieller Aufbau des Sensor-Moduls (Funktionsmuster)**

Bei der Realisierung ergaben sich aus den Zielsetzungen des Vorhabens und den vorgegebenen Randbedingungen wesentliche Parameter für die Auslegung. Dies betrifft insbesondere die Forderungen nach einer möglichst einheitlichen Konfiguration für verschiedene Einsatzzwecke und die möglichst weitgehende Parametrisierung über Software und die Funkschnittstelle. Darüber hinaus waren die allgemeinen Anforderungen für sicherheitskritische Anwendungen im Flugzeug und die spezifischen Umweltbedingungen an den vorgesehenen Einbauorten zu berücksichtigen. Hieraus ergaben sich auch die Anforderungen an eine geeignete Gehäuselösung.

### 3.3.3. Entwicklung Zugangspunkt (Access Module)

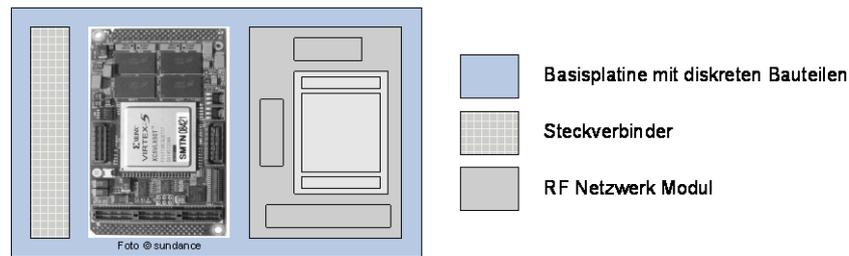
Der Zugangspunkt stellt über ein drahtgebundenes Netzwerk (Backbone) die Verbindung zwischen dem drahtlosen Netzwerk und dem Anwendungs-Server her. Im Zugangspunkt ist ein wesentlicher Teil der Funktionalität anzusiedeln, die für die Aspekte Sicherheit und automatische Konfiguration erforderlich ist.

Der Zugangspunkt ist weiterhin für die Umsetzung des Protokolls, das auf dem drahtlosen Netz verwendet wird, und dem Standard-Protokoll auf dem Backbone verantwortlich.

Für die Anbindung an das drahtlose Netzwerk ist ein RF Netzwerk Modul vorgesehen, das weitgehend baugleich mit dem Sensormodul ist und das auf dem SoC-Baustein des IMST basiert.

Für die oben skizzierten Aufgaben ist der im SoC-Baustein vorhandene Rechnerkern aller Voraussicht nach nicht ausreichend leistungsfähig, außerdem besitzt das SoC nicht die erforderlichen Netzwerk-Schnittstellen. Der Zugangspunkt erfordert daher den Einsatz eines weiteren hochintegrierten Bausteins. Dieser sollte im Rahmen des Vorhabens durch ein FPGA realisiert werden, das neben einem ausreichend leistungsstarken Rechnerkern auch die erforderlichen Schnittstellen zum SoC und zum Netzwerk realisiert. Die ursprüngliche Planung sah vor, dass das FPGA in einem späteren Produkt durch einen daraus abgeleiteten SoC-Baustein ersetzt werden könnte. Im Lauf der Bearbeitung ergab sich die Möglichkeit, ein auf einem kommerziell erhältlichen SoC-Baustein basierendes Rechnermodul einzusetzen, so dass die gewählte Realisierung eine bessere Ausgangsbasis für die Nutzung der von der Firma TriaGnoSys beigestellten Software ergab.

Ziel der Entwicklung war eine modulare Bauweise, eine möglichst hohe Kommonalität mit dem Sensormodul und eine hohe Integrationsdichte.



**Abbildung 4: Möglicher prinzipieller Aufbau Access Module (Funktionsmuster)**

### 3.3.4. Mitarbeit in den übrigen Arbeitspaketen

Als Voraussetzung für die Realisierung der beiden Hardwaremodule beteiligte sich FAV an den Arbeiten zur Auslegung des Gesamtsystems, zur Definition der Anwendungen sowie zur Frequenzwahl. Die Systemintegration erfolgte in mehreren Schritten bei FAV am Standort Ulm, bei EADS IW Ottobrunn sowie im letzten Schritt bei Airbus Hamburg. FAV war in allen Schritten unterstützend beteiligt.

Die Demonstration erfolgte schließlich - mit Ausnahme der Beiträge des assoziierten Partners UTAS - vollständig unter Nutzung der von FAV bereitgestellten Hardware-Komponenten, die an einen bei Airbus vorhandenen Demonstrator des Kabinen-Managementsystems angebunden wurde.

## 4. STAND DER WISSENSCHAFT UND TECHNIK ZU BEGINN DES VORHABENS

### 4.1. Stand der Wissenschaft und Technik

Sensor-Netze bestehen aus stationären und mobilen Sensorknoten, in denen eine geeignete Sensormesstechnik, eine Datenverarbeitungseinheit, eine Energieversorgung und eine drahtlose Funkschnittstelle auf kleinstem Raum integriert sind. Diese Sensorknoten können beispielsweise an unzugänglichen Stellen angebracht sein und vollkommen autark über längere Zeiträume Umgebungswerte messen oder physikalische Prozesse überwachen [1].

Mit Sensor-Netzen lassen sich Anwendungen realisieren, die durch Miniaturisierung und Einbettung von Mikroelektronik in andere Objekte sowie ihre Vernetzung und Allgegenwärtigkeit gekennzeichnet sind. Sensor-Netze unterscheiden sich von traditionellen Rechnernetzen durch Einschränkungen der Ressourcen wie beispielsweise Speicherkapazität, Übertragungsleistung und Energieversorgung. Viele Anwendungen erlauben keinen Wechsel der Batterien. Deshalb ist eine Unabhängigkeit des Sensor-Netzes gefordert. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von regenerativen Energien in den Sensorknoten erreicht werden (energy harvesting). Das Einsatzgebiet regenerativer Energiequellen ist zur Zeit noch stark eingeschränkt, teils weil entsprechende Gewinnungsverfahren noch nicht existieren oder weil die produzierten Energiemengen zu gering sind oder nicht kontinuierlich sondern nur sporadisch gewonnen werden können. Einen Architekturvorschlag für einen Sensorknoten auf Basis von energy harvesting findet man in [2]. Aus diesen Gründen beziehen Sensorknoten in der Regel ihre Energie aus Batterien, die beschränkte Größe erlaubt aber nur sehr kleine Batterien mit geringer Kapazität. Der langlebige Betrieb solcher Sensorknoten erfordert deshalb einen extrem ökonomischen Umgang mit der Resource „Energie“.

Die größten Energieverbraucher in den betrachteten Sensorknoten sind zum einen die Sensoren selber, die einen physikalischen Effekt vermessen sollen und zum anderen die drahtlose Kommunikation. Der Energieverbrauch durch die Sensorinterface-Elektronik oder den Prozessor fällt dagegen kaum ins Gewicht. Dabei ist zu beachten, dass in vielen Fällen die Bereitschaft des Funkmoduls zum Empfang von Nachrichten mehr Energie benötigt als das eigentliche Senden von Daten. Aus diesem Grund wurden zahlreiche Verfahren zur energieeffizienten Medienzugriffskontrolle entwickelt (MAC-Protokolle). Vertreter dieser Art von MAC-Protokollen sind B-MAC, WiseMAC, LMAC und TRAMA. Der aktuelle Forschungsstand auf diesem Gebiet ist in [3] zusammengefasst. MAC-Protokolle reduzieren den Energieverbrauch durch die Einführung von Schlaf-Wach-Zyklen auf Kosten des Durchsatzes und der Latenzzeit. In den Schlafphasen werden alle aktiven Komponenten im Sensorknoten einschließlich des Funkmoduls abgeschaltet.

Sollen Messwerte von verschiedenen Sensorknoten zeitlich miteinander kombiniert werden, so ist eine Synchronisation der Uhren notwendig. Die geforderte Genauigkeit hängt von der konkreten Anwendung ab und kann in der Größenordnung von Millisekunden bis hin zu einigen Mikrosekunden liegen. Derartige Genauigkeiten sind mit speziellen Algorithmen zu erreichen, wobei der Aufwand für die Zeitsynchronisation

und damit auch der Energiebedarf mit der Netzgröße steigt. Mit aktuellen Verfahren kann eine Genauigkeit zwischen zwei Knoten in der Größenordnung von weniger als 100  $\mu$ s erreicht [4] werden.

Zur Unterstützung der Erstellung von Anwendungen von Sensor-Netzen sind in den letzten Jahren auf mehreren Ebenen Fortschritte erzielt worden. Mit „TinyOS“ steht ein quelloffenes Betriebssystem für Sensor-Netze zur Verfügung, welches die spezifischen Belange, die sich aus der Ressourcenbeschränkung ergeben, berücksichtigt [5]. Die Interpretation der in einem Sensornetz verteilt gemessenen Daten ist Bestandteil vieler Anwendungen. Hierzu gibt es erste Ansätze, die auf Datenbank-Sichtweisen basieren. So interpretiert der TinyDBAnsatz das Sensornetz als eine verteilte Datenbank, die durch Sensoren dynamisch mit Daten der realen Welt gefüllt wird [6]. Mittels einer SQL-ähnlichen Sprache kann man Anfragen an das Sensornetz stellen.

Wie in drahtgebundenen Netzen erfordert die Kommunikation der Knoten untereinander auch in Sensor-Netzen Verfahren zum Routing von Nachrichten. Die für drahtgebundene Netze entwickelten Verfahren lassen sich nicht einfach übertragen, da dort die Frage des Energieverbrauchs nicht berücksichtigt wird. Von besonderer Bedeutung für Sensor-Netze sind geografische Routing-Verfahren. In vielen Anwendungsszenarien interessiert sich der Benutzer gezielt für Messdaten einer bestimmten geografischen Region. Das Netzprotokoll muss Anwendungen dabei die Aufgabe abnehmen, die betroffenen Knoten ausfindig zu machen und Nachrichten an sie weiterzuleiten. Einen Überblick über den aktuellen Stand der Routing-Verfahren in Sensor-Netzen findet man in [7]. Neuere geografische Routing-Algorithmen sind in [8] beschrieben.

Sensor-Netze müssen ihre Aufgabe in robuster Weise erfüllen. In lebenswichtigen Anwendungen ist darüber hinaus Verlässlichkeit und Fehlertoleranz gefordert, d.h. ein Sensornetz sollte möglichst auch bei Ausfall einzelner Komponenten oder beim Auftreten zu erwartender Fehler wie Störungen des Funkkanals noch Funktionsgarantien erfüllen. Einen Ansatz zur Realisierung von Fehlertoleranz in drahtlosen Sensor-Netzen wird in [9] beschrieben. Aufgrund der anvisierten Einsatzgebiete müssen Sensor-Netze ohne Infrastruktur auskommen, Sensorknoten müssen sich also spontan vernetzen. Techniken aus dem gegenwärtig intensiv erforschten Bereich der Ad-hoc-Netze und der Selbstorganisation spielen daher eine bedeutende Rolle. Ebenso ist Skalierbarkeit eine wichtige Anforderung, da Sensor-Netze Tausende oder gar Millionen von Knoten umfassen können. Die Größe der Netze und die Unzugänglichkeit der Knoten selbst verhindert, dass einzelne Knoten gezielt manuell konfiguriert oder administriert werden können, Sensor-Netze haben daher selbstkonfigurierend und selbstadministrierend zu sein. Einen Überblick über den aktuellen Forschungsstand findet man in [10].

Für viele Anwendungen von drahtlosen Sensor-Netzen ist Sicherheit ein wichtiges Kriterium. Die mannigfaltigen Sicherheitsrisiken, denen solche Netze ausgesetzt sind, haben ihre Wurzeln in der drahtlosen Kommunikation. Die reduzierten Rechenleistungen von Sensorknoten sind der wesentliche Grund, weshalb konventionelle Sicherheitslösungen in diesem Umfeld nur sehr eingeschränkt anwendbar sind. Den aktuellen Stand der Forschung beschreiben [10].

Speziell das HF-Frontend eines drahtlosen SoC Sensor-Netzwerkes bestimmt maßgeblich den Leistungsverbrauch des gesamten IC-Systems. Derzeitige Veröffentlichungen zeigen [12][13][14][15], dass spezielle Teillösungen untersucht worden sind, diese aber nicht die gewünschten Leistungsparameter aufweisen, um in einer PROTEG-O Luftfahrtanwendung Einsatz zu finden. Vor allem die höheren Frequenzbereiche, die in PROTEG-O angedacht sind, als auch die benötigte erhöhte Zuverlässigkeit des Sensornetzwerkes sind Punkte bei denen neue Ansätze untersucht werden müssen.

## **4.2. Bisherige Arbeiten des Antragstellers**

### ***SINTEG***

Im Rahmen des LuFo-Vorhabens SINTEG arbeitete FAV an der Weiterentwicklung eines optischen Netzwerkes für die Flugzeugkabine. Zusammen mit den Verbundpartnern wird eine gegenüber dem bisher erreichten Stand der Technik deutlich gesteigerte Übertragungsrate und Integrationsdichte angestrebt. FAV realisierten gemeinsam die Hardware des optischen Frontends, das den Anforderungen eines neuartigen Modulationsverfahrens gerecht werden musste, das von der Jacobs University Bremen entwickelt wurde.

Für den Access Point entwickelt FAV eine hochintegrierte Plattform. Die hierbei eingesetzte Spitzentechnologie soll auch in PROTEG-O als Grundlage dienen.

### ***A310MRTT Missionsrechner***

Funkwerk Avionics GmbH hat im Auftrag von Airbus Operations GmbH ein Missionsrechnersystem für die A310MRTT (Multi-Role Transport/Tanker) - Flugzeuge der Luftwaffe und der kanadischen Streitkräfte entwickelt. Dieses System dient der Planung und Durchführung von Luft-zu-Luft-Betankungsvorgängen. Funkwerk Avionics hat hierfür die gesamte Hardware und Software geliefert.

Die Software umfasst mehr als 100.000 Codezeilen, die nach DO-178B/ED-12B Level D und der Airbus-Norm ABD0100 entwickelt. Die operationelle Erprobung des Systems ist inzwischen auf den Flugzeugen der deutschen und kanadischen Streitkräfte weitgehend abgeschlossen.

Aus diesem Vorhaben hat Funkwerk Avionics umfangreiche Erfahrung im Umgang mit den Airbus-internen Standards und Prozessen und in die Zulassungsverfahren für Avionik-Systeme im Großflugzeug-Bereich, die wertvoll für dieses Vorhaben sind.

### ***Sonstige relevante Geschäftsaktivitäten der FAV***

FAV entwickelt und vertreibt Produkte für die zivile Luftfahrt, insbesondere die allgemeine Luftfahrt mit dem Schwerpunkt Kleinflugzeuge. Als Grundlage hierfür erarbeitet FAV in nationalen und internationalen Forschungsprojekten Systemlösungen mit dem Ziel, mehr Sicherheit, Effizienz und Flexibilität in der Luftfahrt zu erzielen.

Funkwerk Avionik hat zum 01.01.2008 die Luft- und Raumfahrtaktivitäten der Euro Telematik AG übernommen und führt diese auch im Bereich der Forschung und Entwicklung fort. Daneben existieren mehrere Produktlinien von Avionikgeräten, die am Markt gut etabliert sind. Diese bilden, ebenso wie die Ergebnisse aus der früheren Beteiligung an einer Reihe von Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in nationalen und internationalen Teams die Grundlage für das vorliegende Vorhaben.

## 5. PLANUNG UND ABLAUF

### 5.1. Arbeitsstrukturplan

Da die Arbeiten der Partner des Verbundvorhabens sehr eng miteinander verknüpft waren und nur in der Zusammenarbeit zu dem angestrebten Ziel des Vorhabens führen werden, wurde der Arbeitsplan zwischen den Partnern bereits im Vorfeld relativ detailliert abgestimmt.

Der Arbeitsplan des Gesamtvorhabens gliedert sich in die fünf Hauptarbeitslinien

- Projektleitung (100)
- Architektur (200)
- System on Chip (300)
- Development (400)
- System Test (500)

und ist in der Abbildung unten dargestellt. Die Inhalte für jede Arbeitslinie sind in den im Strukturplan aufgeführten Arbeitspaketen detailliert beschrieben.

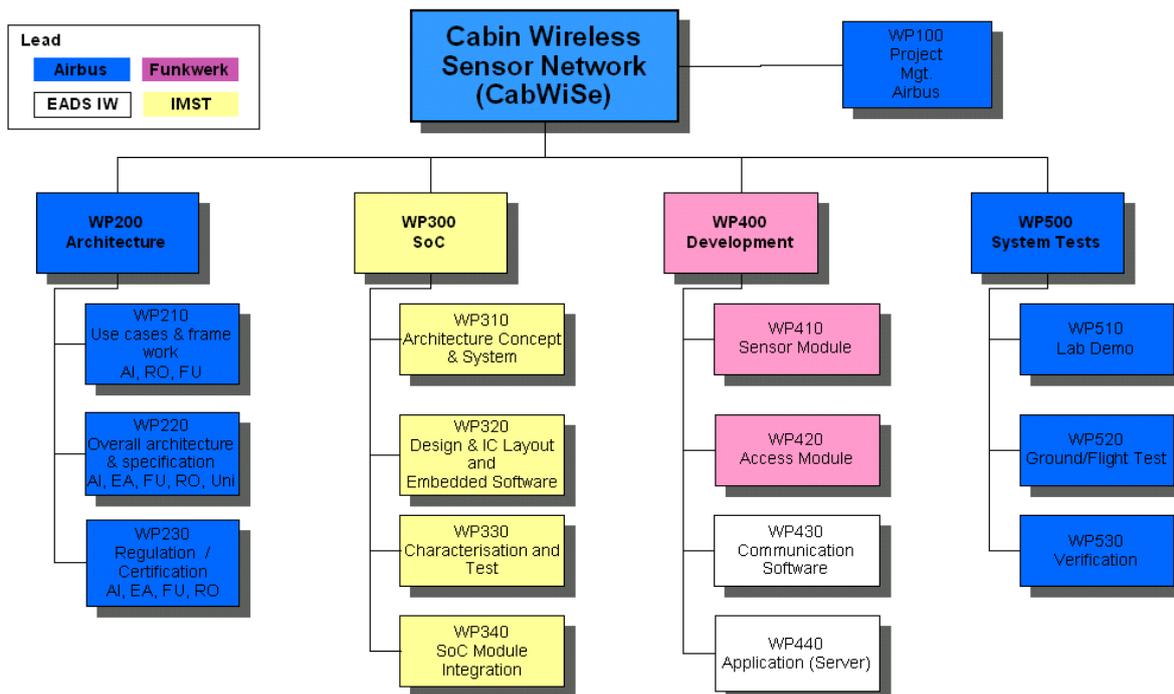


Bild 1: Arbeitsstrukturplan

Funkwerk Avionics bearbeitete federführend die Arbeitspakete

- WP410: Sensor Module
- WP420: Zugangspunkt (Access Module)

Daneben leistete FAV Zuarbeit in folgenden Arbeitspaketen:

- WP100: Management
- WP210: Einsatzszenarien und Rahmen
- WP220: Architektur und Spezifikation
- WP230: Zulassung und Regulierung
- WP340: SoC Modul Test, Integration
- WP430: Communication Software
- WP440: Applikation
- WP510: Labortest
- WP520: Ground / Flight Tests
- WP530: Verifikation

## 5.2. Zeitplan

Die ursprüngliche Zeitplanung ist in dargestellt. Sie orientierten sich an der zwischen Airbus und den übrigen Verbundpartnern abgestimmten Planung des Verbundvorhabens.

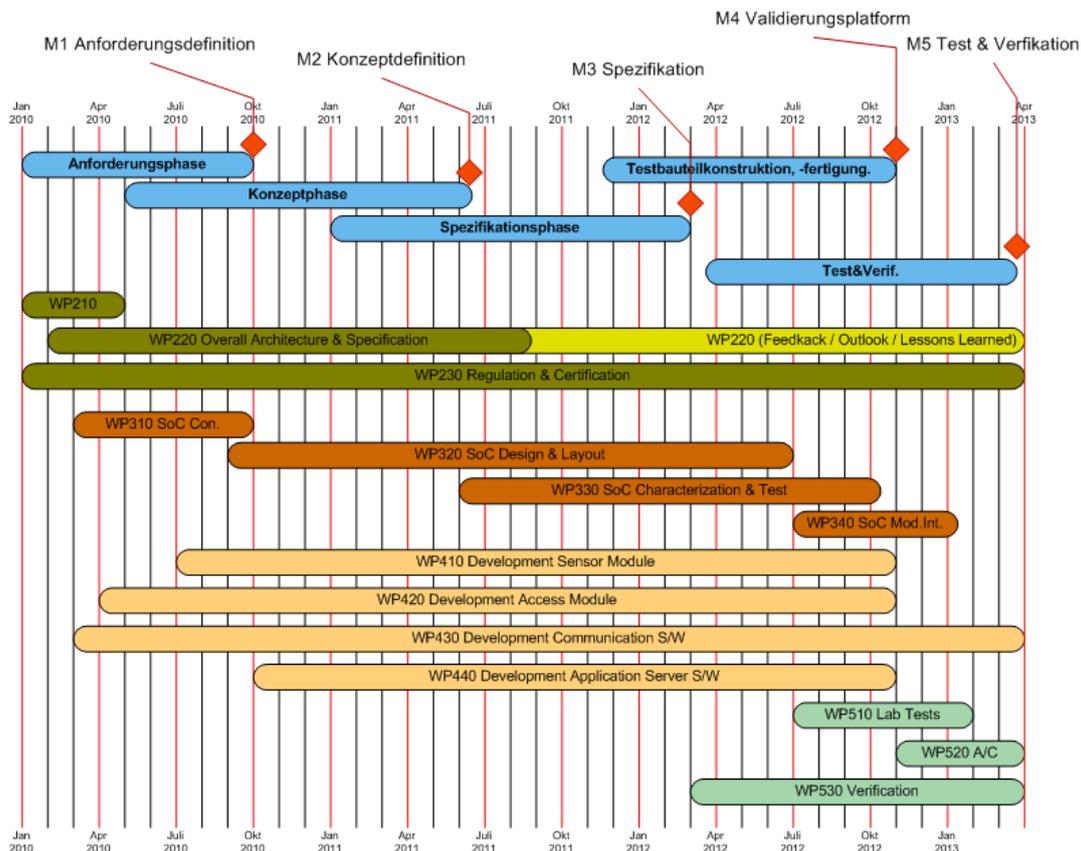


Bild 2: Zeitplanung lt. Zuwendungsantrag

Bei der Antragstellung war der Abschluss der Arbeiten der FAV bis 31.12.2012 geplant.

Nachdem bereits die Konzept- und Spezifikationsphase im Verbund längere Zeit als ursprünglich geplant in Anspruch genommen hatte, ergaben sich weitere signifikante Verzögerungen außerhalb des Einflussbereichs der FAV. Insbesondere konnte die erste Generation des SoC-Bausteins noch nicht für den Aufbau von Modulen in der geplanten Form genutzt werden. Die zweite Generation stand schließlich im 2. Quartal 2013 zur Verfügung.

In Abstimmung mit den Partnern Airbus wurde daher eine kostenneutrale Verlängerung des Vorhabens bis zum 30.09.2013 beantragt und vom Projektträger auch genehmigt.

### 5.3. Ressourcenplanung

Die Ressourcenplanung der Funkwerk Avionics umfasste:

Personaleinsatz	12600h
Personalkosten	968.000,00 €
Material	10.000,00 €
Sonstige unmittelbare Vorhabenkosten	13.000,00 €
Reisekosten	6.000 €
<b>Gesamt</b>	<b>997.000,00 €</b>

Mit Änderungsbescheid Nr. 5 vom 30.08.2013 erfolgte eine Umwidmung von Mitteln in Höhe von 11.800 Euro von den sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten in Personalkosten.

## 6. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Arbeiten des Vorhabens waren Teil des Verbundvorhabens PROTEG-O unter der Koordination Airbus Operations GmbH, Finkenwerder. Weitere Projektpartner waren die Firma IMST sowie diverse Unterauftragnehmer der Fa. Airbus.

Im Rahmen des Vorhabens ergab sich eine enge Zusammenarbeit nicht nur mit Airbus, sondern auch mit EADS IW (Unterauftragnehmer Airbus) und IMST.

Während der Projektlaufzeit wurden auf Initiative von Airbus die Firmen TriaGnoSys, Diehl Avionik sowie BF Goodrich/UTAS in das Projekt eingebunden.

Mit dem assoziierten Partner UTAS ergab sich ein häufiger Austausch von Informationen, und UTAS erhielt für Testzwecke einen Wireless Data Concentrator von Funkwerk Avionics.

Die im Rahmen von SWAN entwickelte Netzwerk-Software der Firma TriaGnoSys konnte mit relativ geringem Aufwand auf die von FAV bereitgestellte Hardware-Plattform portiert werden.

Eine Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundes erfolgte nicht.

## 7. Erzielte Ergebnisse

### 7.1. AP100 – Projektmanagement

Dieses Arbeitspaket umfasste die folgenden Tätigkeiten:

- Leitung und Koordination aller Vorhabenaktivitäten bei FAV
- Koordination mit den übrigen Teilnehmern des Verbundvorhabens
- Kommunikation mit dem Projektträger

Die Organisation sowie Abstimmung zu Arbeitsinhalten erforderte zahlreiche Besprechungen zwischen den Projektpartner und Unterauftragnehmern, die in der folgenden Tabelle aufgelistet sind:

Datum	Ort	Anlass
14.7.2010	Hamburg	Arbeitstreffen bei Airbus Kennenlernen der Partner und UAN, erste technische Abstimmung, Terminplanung.
14.-16.9.2010	Hamburg	Workshop bei TU HH-Harburg und Airbus zur Systemspezifikation
10.11.2010	München	Fachmesse "electronica". Marktsichtung, Gespräche mit Komponentenherstellern
29.11.2010	Ulm	Technisches Abstimmungsgespräch mit Airbus, H. Trusch
30.11.2010	Erlangen	Technologie-Workshop "Wake-up-Receiver" bei FhG/IIS
13./14.12.2010	Kamp-Lintfort	Airbeitstreffen bei IMST SoC-Anforderungen und Konzeption. Auswahl der Entwicklungswerkzeuge.
16.3.2011	Hamburg	Entwickler-Workshop
18.5.2011	Hamburg	Arbeitstreffen, Interferenz-Problematik, Demonstrator-Konzept
8.6.2011	Weßling	Abstimmung HW/SW-Konzept WDC, Zusammenarbeit mit Fa. TriaGnoSys
14.9.2011	Hamburg	Arbeitstreffen
25.11.2011	Hamburg	PROTEG-O Jahresreview mit dem PT
12./13.12.2011	Ulm	Workshop, Informationsaustausch mit den neuen Partnern

11./12.04.2012	Ottobrunn	Technischer Workshop: SoC characteristics, Software development, Demonstrator planning
03.05.2012	FhG IBP Holzkirchen	Drahtlose Sensorsysteme für Forschungsprojekte des IBP
04.05.2012	Oberpfaffenhofen	Zukünftige Funkkommunikationssysteme für die Luftfahrt
10./11.07.2012	Löhne	Sondierungsgespräch zu möglichen Anwendungen mit Fa. steute
18.10.2012	Hamburg	Techn. Workshop
06.12.2012	Hamburg	PROTEG-O Jahresreview mit dem PT
06.03.2013	Kamp-Lintfort	Entwickler-Workshop
19.06.2013	Ottobrunn	Hardware/Software-Integration Sensormodul

Des Weiteren erfolgte eine regelmäßige Abstimmung des Vorgehens mit den Partnern in 14-tägigen bzw. wöchentlichen Telefonkonferenzen.

Ein abschließendes Treffen der Verbundpartner mit dem Projektträger DLR ist für den 21.01.2014 terminiert.

Für den Datenaustausch zwischen den Partnern wurde ein von Airbus bereitgestellter, geschützter Online-Speicher genutzt.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets erfolgte auch die rechtzeitige Erstellung von monatlichen internen Projektberichten sowie den folgenden Halbjahresberichten:

19.07.2010: 1. Halbjahr 2010  
10.01.2011: 2. Halbjahr 2010  
11.07.2011: 1. Halbjahr 2011  
16.01.2012: 2. Halbjahr 2011  
16.07.2012: 1. Halbjahr 2012  
21.01.2013: 2. Halbjahr 2012  
08.07.2013: 1. Halbjahr 2013

Die Ergebnisse des Vorhabens wurden schließlich in dem vorliegenden Abschlussbericht dokumentiert.

## 7.2. AP210 - Einsatzszenarien und Rahmen

In den Projektdokumenten "D210.1: System Requirements Document" und "D210.2: Application Scenarios" wurden durch Airbus auf Basis der in SWAN erzielten Ergebnisse die Randbedingungen für die Systemrealisierung in PROTEG-O niedergelegt.

In D210.2 sind insgesamt 17 Anwendungsfälle dargestellt. In Abstimmung mit den Projektpartnern wurden schließlich 3 Anwendungsfälle identifiziert, die im Rahmen der PROTEG-O-Demonstration auf der Basis der FAV-Geräte realisiert werden sollten:

- Temperatur/Feuchte-Messung in der Kabine bei Nachweis/Abnahmeflügen mit Hilfe mobiler, drahtloser Sensoren
- Überwachung der internen Flugzeug-Türen mit einem berührungslosen, fest installierten drahtlosen Sensor
- Steuerung der Innenbeleuchtung mit Hilfe der FAV-Funkmodule (Assoziierter Partner Diehl Avionik)

Als weitere Anwendung war zunächst die Messung des Differenzdrucks an Luftfiltern zur Überwachung des Verschmutzungsgrades mit in der Vorauswahl. Diese wurde im Lauf des Auswahlprozesses jedoch fallen gelassen.

Die allgemeinen Anforderungen, die von den Geräten im operationellen Zustand (TRL > 6) zu erfüllen sind, wurden analysiert und nach Möglichkeit für die Auslegung des Demonstrators berücksichtigt.

Aus einer Telefonkonferenz mit verschiedenen Fachabteilungen bei Airbus am 01.08.2012 ergaben sich zulassungsrelevante Hinweise zur Auslegung des Sensormoduls für die Anwendung "Türüberwachung", die bei der Realisierung berücksichtigt werden.

## 7.3. AP220 - Architektur und Spezifikation

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde von FAV Zuarbeit zu der Erstellung des Dokuments "D220.1: System Specification" in den FAV betreffenden Bereichen geleistet.

Eine wesentliche Übereinkunft zwischen den Partnern war, dass die Geräte in Übereinstimmung mit den Vorhabenzielen ausschließlich für den 4GHz-Bereich (4,2-4,4GHz) ausgelegt werden sollten. Es wurden dementsprechend keine Geräte für den vom IMST-SoC ebenfalls unterstützten Frequenzbereich bei 2,4GHz realisiert.

## 7.4. AP230 - Zulassung und Regulierung

### 7.4.1. Überblick

Für drahtlose Sensornetzwerke in der Flugzeugkabine gelten grundsätzlich die gleichen Zulassungsanforderungen wie auch für herkömmliche Systeme, die dem ATA-

Kapitel 44 (Kabine) zugeordnet sind. Spezielle Probleme ergeben sich in zwei Bereichen:

- Allokation des ausgewählten Frequenzbandes (4,1GHz-4,3GHz) für drahtlose flugzeug-interne Kommunikation (WAIC) durch die ITU
- Elektromagnetische Kompatibilität zwischen dem WSN und anderen Flugzeugsystemen (EMV-Anforderungen gem. RTCA DO-160)
- Koexistenz und gegenseitige Beeinflussung mit dem Radar-Höhenmesser

#### **7.4.2. Überlegungen zur Auswahl der Arbeitsfrequenz**

Der Ausgangspunkt für PROTEG-O war die Hypothese, dass langfristig drahtlose Sensornetzwerke in Passagierflugzeugen auch für sicherheitsrelevante Verbindungen zumindest bis DAL-C nutzbar sein sollen und dass dies nur durch proprietäre, geschützte Übertragungsverfahren und unter Nutzung eines exklusiv für die Luftfahrt zugewiesenen Frequenzbandes erreichbar sein wird.

Da ein einzelner Kanal des drahtlosen Sensornetzwerks eine Bandbreite von ca. 2MHz benötigt, muss der ausgewählte Frequenzbereich ausreichend groß sein, um pro Flugzeug mehrere Kanäle problemlos realisieren zu können.

Die Arbeiten in PROTEG-O waren auf das sog. "Radar-Höhenmesser-Band" fokussiert, einen Frequenzbereich von 4,2GHz-4,4GHz, der derzeit weltweit für die Nutzung durch Radar-Höhenmesser in Flugzeugen reserviert ist.

Im Frequenzbereich um ca. 4GHz sind derzeit in Deutschland folgende Frequenzzuweisungen gültig:

- 3800-4200MHz: Fester und mobiler Funkdienst (Richtfunkstrecken)
- 4200-4400MHz: Erderkundungsfunkdienst (Passive Sensoren an Bord von Satelliten), Weltraumforschung
- 4200-4400MHz: Flugnavigationsfunkdienst (Radar)
- 4400-4800MHz: Militärischer Funkdienst, stationär und mobil

Die Frequenzkoordination erfolgt durch die ITU, eine Unterorganisation der UN, auf politischer Ebene. Die Industrie kann entsprechende Vorschläge nur über die nationalen zuständigen Stellen einreichen.

Die entsprechenden Aktivitäten für die Zuweisung des Frequenzbandes 4,24,4GHz für die drahtlose Kommunikation zwischen Flugzeugsystemen werden durch ein internationales Industriekonsortium unter dem Projektnamen "WAIC" betrieben, dem auch Airbus angehört. FAV hat sich an diesen Aktivitäten nur als Beobachter beteiligt. Die Zuweisung des Frequenzbandes ist ein wesentlicher Erfolgsfaktor für die Verwertung der PROTEG-O-Ergebnisse.

### 7.4.3. Kompatibilität mit anderen Flugzeugsystemen

Für die elektronische Ausrüstung von Flugzeugen gelten klare Festlegungen hinsichtlich ihrer elektromagnetischen Verträglichkeit, sowohl was die zulässigen Störaussendungen betrifft als auch hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber Störungen. Die Anforderungen werden heute in aller Regel nach dem RTCA-Standard DO-160 (aktuelle Ausgabe: G) festgelegt. Je nach Montageort des Geräts gelten verschiedene Anforderungen.

Da Radar-Höhenmesser mit relativ geringer Sendeleistung gerichtet nach unten abstrahlen, kann davon ausgegangen werden, dass die Wechselwirkung zwischen einem Funksystem innerhalb der Kabine und dem Radar-Höhenmesser relativ gering ist. Diese Hypothese wurde in PROTEG-O sowohl experimentell als auch theoretisch untersucht.

Allgemeingültige Messungen mit repräsentativem Charakter sind bei den gegebenen Randbedingungen ebenso schwer möglich wie allgemeingültige Berechnungen. Von Airbus wurde daher das Ziel verfolgt, theoretische Abschätzungen mit praktischen Messungen zu ergänzen.

Durch FAV wurden zwei Aspekte untersucht:

- Kompatibilität mit anderen Flugzeugsystemen, insbesondere anderen Funksystemen
- Kompatibilität mit dem Radar-Höhenmesser

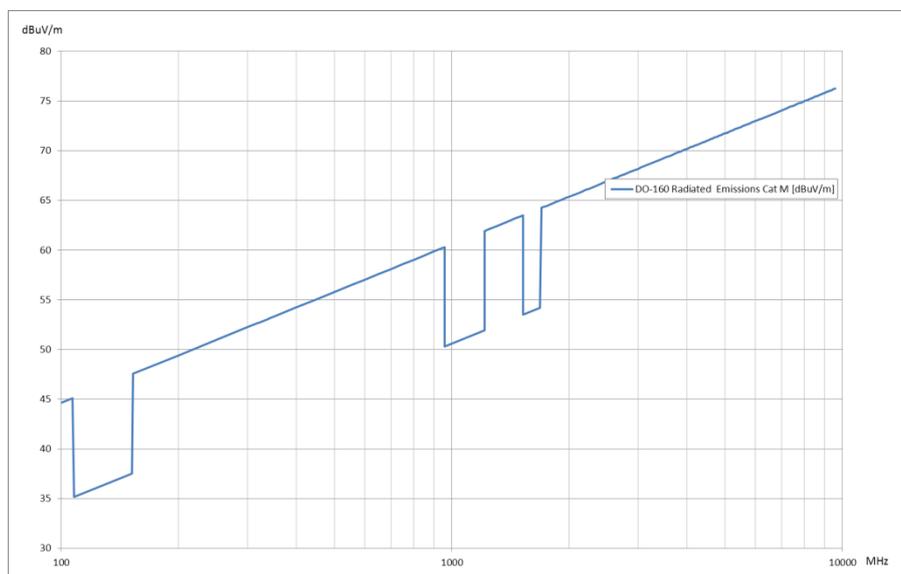


Bild 3: Zulässige Störaussenden für Kabinenelektronik (RTCA DO-160, Klasse M)

Es konnte gezeigt werden, dass durch die relativ strengen Forderungen der RTCA DO-160 sichergestellt ist, dass andere Flugzeugsysteme einschließlich der Funksysteme in dem fraglichen Frequenzband keine Störaussendungen abstrahlen dürfen, die den Betrieb des WSN in diesem Bereich grundsätzlich im Wege stehen. Je nach

erforderlicher Reichweite und Sendeleistung ergeben sich gute bis sehr gute Signal/Rauschabstände, die einen störungsfreien Betrieb ermöglichen.

Für die Koexistenz mit dem Radarhöhenmesser konnte gezeigt werden, dass diese innerhalb der Flugzeugkabine weitestgehend ohne Probleme möglich ist.

Hingegen ist bei Anwendungen außerhalb der Kabine mit deutlichen Interferenzen zu rechnen. Aufgrund der speziellen Signalform des Radarhöhenmessers ergeben sich jedoch nur kurzzeitige Störungen, die durch geeignete Maßnahmen im Übertragungsprotokoll beherrscht werden können, zumindest für solche Anwendungen, die keine hohen Anforderungen an die Echtzeitübertragung stellen.

Umfangreiche Messungen wurden bei Airbus und UTAS durchgeführt und im Verbund diskutiert.

Die Messungen bestätigten, dass für die von FAV realisierten Anwendungen innerhalb des Flugzeugrumpfs keine Bedenken hinsichtlich der Koexistenz mit Radarhöhenmessern oder anderen Flugzeugsystemen bestehen.

## 7.5. AP340 - SoC Modul Test, Integration

Für die Evaluierung des SOC-Bausteins wurde von IMST ein Evaluation Board entwickelt und den Partnern zur Verfügung gestellt. Sowohl auf diesem Board als auch in den von FAV entwickelten Geräten ist der SoC-Baustein direkt auf die Leiterplatte gelötet. Die ursprünglich angedachte Option, ein SoC-Modul zu realisieren, das dann auf eine Basisplatine aufgesteckt oder gelötet werden kann, wurde schon frühzeitig aufgegeben, da sie zusätzliche, vermeidbare Probleme, vor allem HF-seitig, verursacht hätte.

Das SoC Evaluation Board von IMST besitzt eine Reihe von Eigenschaften, die der Evaluierung des SoC-Bausteins dienen. Für einen Einsatz innerhalb eines Sensor-Moduls ist es nicht ausgelegt.

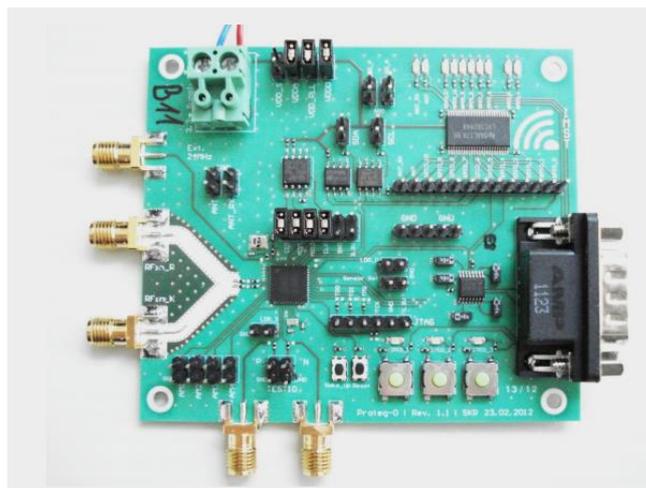


Bild 4: IMST SoC Evaluation Board

Bei FAV wurde dieses Modul für erste Tests und die ersten Schritte der Software-Entwicklung genutzt.

## 7.6. AP410 - Sensormodul

### 7.6.1. Überblick

Das Sensormodul in seinen verschiedenen Ausführungsformen ist das Kernstück des drahtlosen Sensornetzwerks. Aufbauend auf den Vorüberlegungen, die im Zuwendungsantrag dargestellt sind (s.a. Abschnitt 3.3.2), entstand im Lauf des Vorhabens die folgende generische Architektur eines Sensorknotens.

Unter dem Sensorknoten (Sensor Node) wird ein vollständiges Gerät verstanden, das - je nach Einbausituation - mit oder ohne Gehäuse realisiert sein kann. Es besteht aus folgenden Baugruppen/Modulen:

- Sensormodul
- Stromversorgungsmodul
- Optional: Externe Sensoren
- Optional: Externe Antenne(n)
- Optional: Gehäuse

Das Sensormodul selbst enthält folgende Bauteile:

- IMST SoC-Baustein
- Optional: Interne Sensoren, Schnittstellen-Bausteine für interne/externe Sensoren, soweit diese nicht direkt an den SoC-Baustein angeschlossen werden können.
- Optional: Antenne(n)
- Optional: Antennen-Umschalter
- Zusätzliche Bauteile wie Filter, BALUN, Anpassnetzwerk(e), Speicherbaustein(e), JTAG-Interface, Ein-/Ausschalter, Stecker für Integration in andere Geräte

Diese generische Architektur ist in Bild 5 dargestellt.

Im Vorläuferprojekt SWAN wurde eine Schnittstelle für das Sensormodul definiert, mit deren Hilfe das Modul in andere Geräte integriert werden kann. Dieser sog. "SWAN-Stecker" wurde teilweise auch an den in PROTEG-O realisierten Modulen vorgesehen.

Die realisierten Sensormodule können mit verschiedenen Energiequellen kombiniert werden. Grundsätzlich sind auch voll autarke Konzepte auf Basis von "Energy Harvesting" möglich. Im Rahmen von PROTEG-O standen entsprechende Stromversorgungsmodule nicht zur Verfügung. Es wurden daher Primär- und Sekundärzellen in verschiedenen Li-basierten Technologien verwendet.

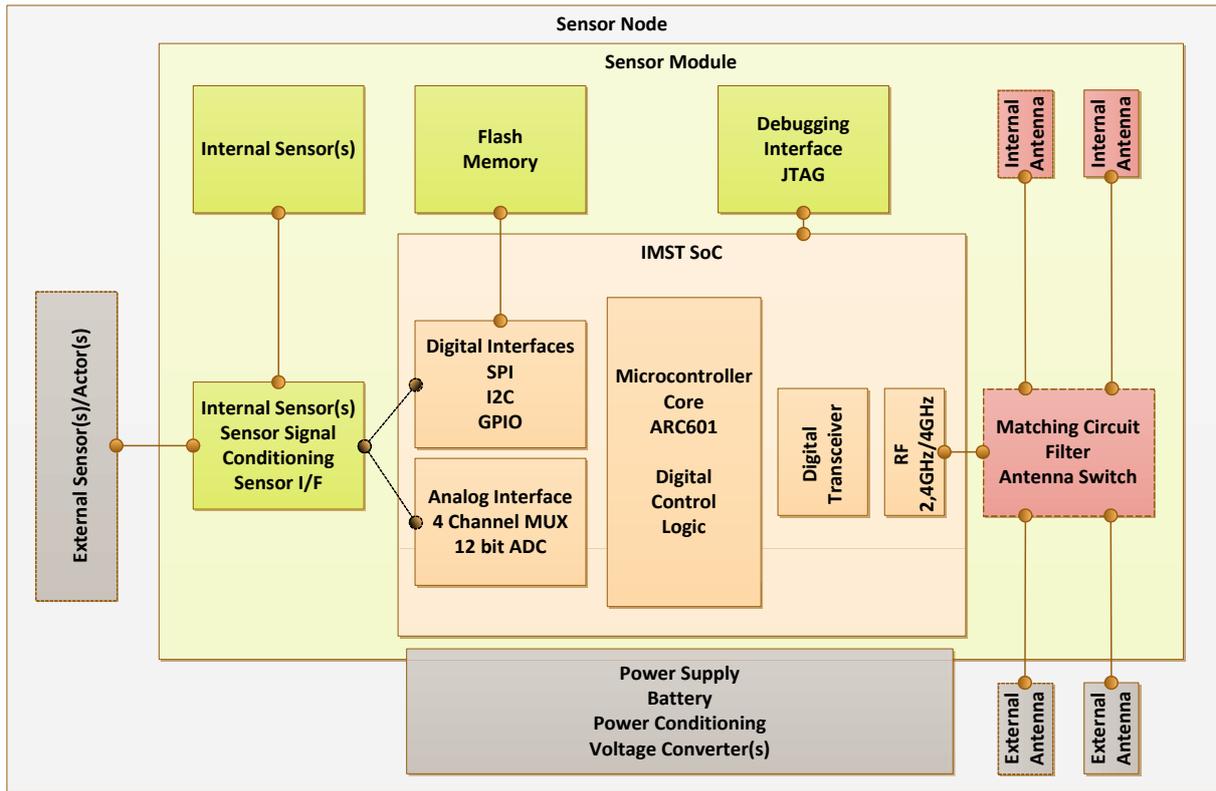


Bild 5: Generische Architektur eines Sensorknotens

Neben dem SoC selbst sind alle HF-seitigen Komponenten wesentlich für die erzielbaren Sende- und Empfangseigenschaften. Diese sind:

- Anpassglieder, BALUN
- Antenne
- Antennenumschalter

Die Auswahl und Beschaffung dieser Komponenten erwies sich als schwierig, da der Frequenzbereich um 4GHz kommerziell kaum genutzt wird.

### 7.6.2. Sensorknoten "Temperaturmessung"

Der Sensorknoten für diese Anwendung diente als Beispiel für die Entwicklung und Verifikation der im vorigen Abschnitt erläuterten Architektur des Sensormoduls. Teile aus dem Layout wurden auch für alle anderen Module wiederverwendet.

Für die Anwendung "Temperaturmessung im Flugversuch" wurde ein kompaktes Gerät entworfen, das nach mehreren Iterationen schließlich folgende technische Daten aufweist:

- Kunststoffgehäuse
- Abmessungen: 58x35x20mm
- Gewicht: 38g (ohne Akku)

- Stromversorgung: Power-Modul mit Li-Ionen-Akku 3,7V/300mAh mit Ladeelektronik und Schutzbeschaltung
- Ladung über USB-Schnittstelle
- Eingebauter Halbleiter-Sensor für Temperatur und Feuchte, Genauigkeit im Temperaturbereich +10...+50°C: ca. 0,3°C
- Abfragezyklus im Demonstrator: 2 Sekunden
- Interne Antenne
- Sende/Empfangsfrequenz programmierbar 4,3GHz  $\pm$  100MHz
- Adapter für "SWAN-Stecker" verfügbar

Das Kunststoffgehäuse ermöglicht die problemlose Verwendung einer internen Antenne, die in Bild 7 rechts hinten zu erkennen ist.



Bild 6: Sensormodul Temperaturmessung



Bild 7: Sensormodul Temperaturmessung offen

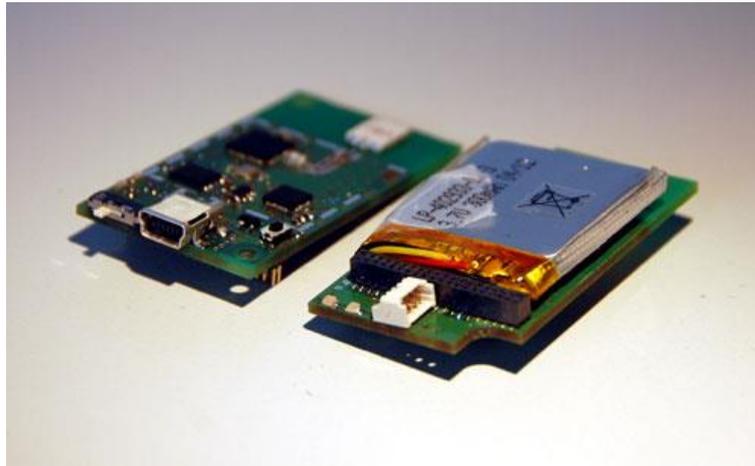


Bild 8: Sensormodul Temperaturmessung - Platinen und Batterie

### 7.6.3. Sensormodul Türüberwachung

Für die Anwendung "Überwachung interner Türen" musste zunächst ein geeigneter berührungsloser Sensor entwickelt werden. Aus verschiedenen Gründen fiel die Wahl auf einen Sensor, der nach einem kapazitiven Prinzip arbeitet. Ein geeigneter integrierter Baustein mit niedrigem Energieverbrauch wurde identifiziert und im Labor erprobt.

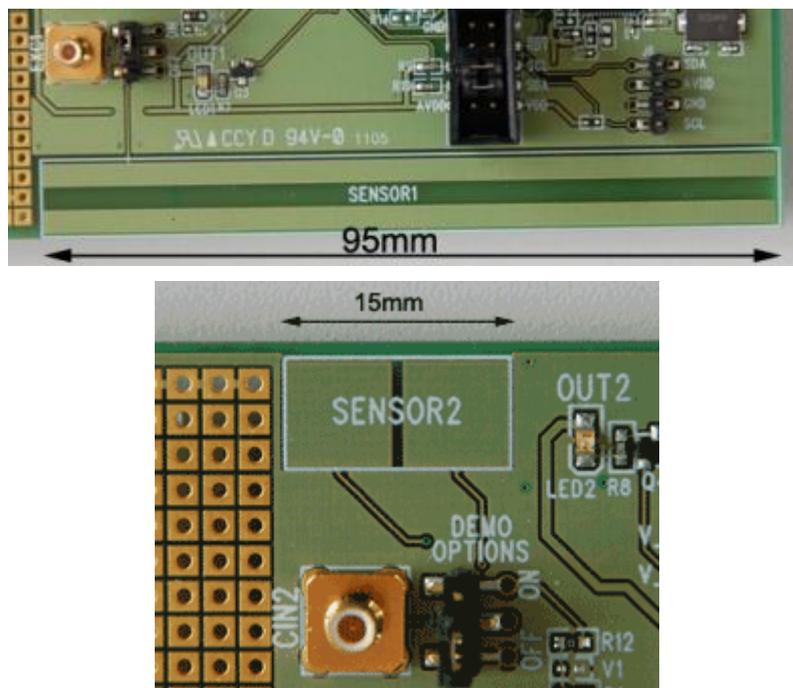
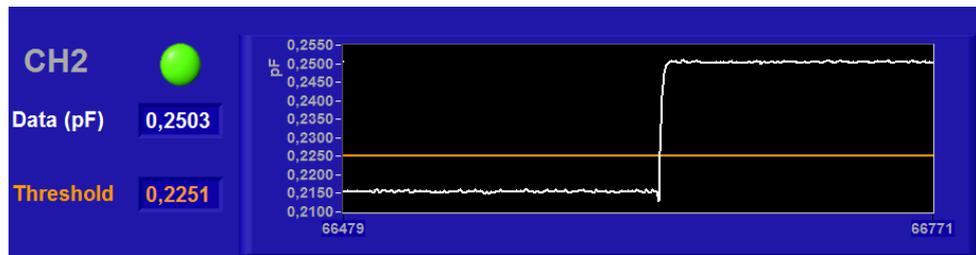


Bild 9: Zwei beispielhafte Sensorgeometrien

Der Sensor besteht aus zwei nebeneinanderliegenden Flächen, die voneinander isoliert sind. Durch eine isolierte, leitfähige, i.A. metallische Gegenfläche werden die beiden Flächen kapazitiv miteinander gekoppelt. Dies wird von dem Sensor-IC detektiert. Bei geeigneter Einstellung der Konfiguration des Bausteins werden sehr saubere, eindeutige Signale gemessen, wie das folgende Bild zeigt.



In diesem Fall wurden zwei Sensorflächen mit jeweils ca.  $2,5\text{cm}^2$  verwendet. Mit diesen relativ großen Flächen ist es auch möglich, den gewünschten Abstand zwischen Sensor und Gegenfläche von bis zu 6mm zu realisieren.

Der Sensorknoten wurde in einem Metallgehäuse (Aluminium, Strangguss) realisiert, um die Nutzbarkeit von Metallgehäusen für den Sensorknoten mit interner Antenne zu testen. Alternativ wurde auch die Möglichkeit vorgesehen, eine externe Antenne einzubauen.

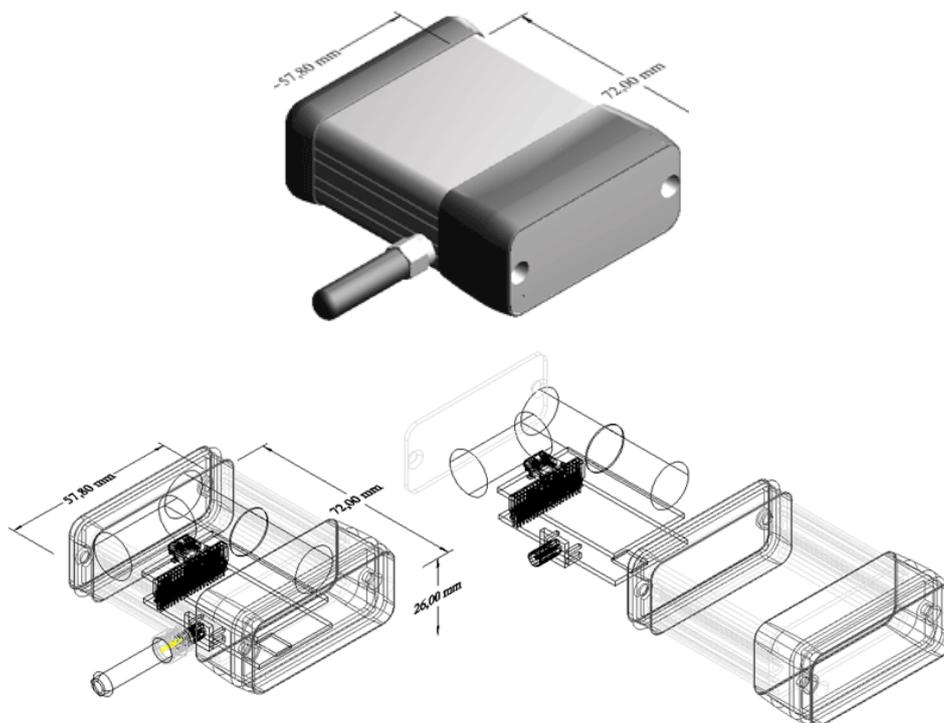


Bild 10: Vorentwurf Sensorknoten "Türüberwachung"

Die metallische Gegenfläche wurde auf einem GFK-Träger montiert, um die Montage zu vereinfachen.

Aufbauend auf den Erfahrungen bei der Realisierung des Temperaturmoduls konnte das Gerät gegenüber dem Vorentwurf nochmals verkleinert werden. Die gesamte Elektronik wurde in eine der Kopfseiten des Gehäuses eingebaut, die andere Kopfseite enthält den kapazitiven Sensor. Das Gerät hat zusammenfassend folgende Eigenschaften:

- Abmessungen: 60x55x25mm
- Gewicht: ca. 70g (ohne Batterie)
- Stromversorgung: 1-3 eingebaute Li-SOCl<sub>2</sub>-Primärzellen, 3,6V/1200mAH
- Berührungsloser, kapazitiver Zustands-Sensor
- Abfragezyklus im Demonstrator: 1 Sekunde
- Interne, optional externe Antenne
- Sende/Empfangsfrequenz programmierbar 4,3GHz ± 100MHz

Im Gegensatz zum Temperaturmodul wurden hier Li-basierte Primärzellen für die Stromversorgung vorgesehen. Es können bis zu drei Zellen eingebaut werden. Die Lebensdauer hängt stark vom Stromverbrauch des Sensormoduls ab. Der derzeit verfügbare SoC-Baustein und die in PROTEG-O verfügbare Software werden noch nicht als repräsentativ für einen operationellen Einsatz angesehen. Hierfür dürfte noch eine deutliche Reduzierung des Stromverbrauchs erforderlich und auch möglich sein, um die angestrebte Lebensdauer von ca. 3-5 Jahren zu erreichen.



Bild 11: Sensormodul Türüberwachung



Bild 12: Sensormodul Türüberwachung mit Gegenstück

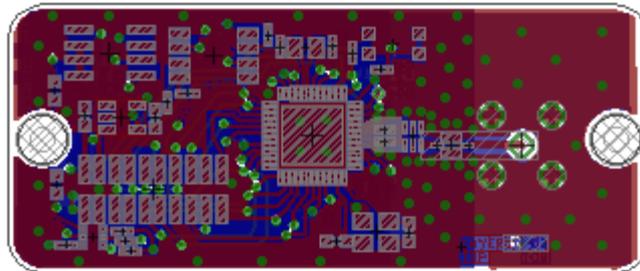


Bild 13: Leiterplattenentwurf Türüberwachung

## 7.7. AP420 - Access Modul (WDC)

Für das "Access Modul" wurde im Lauf der Projektbearbeitung der Begriff "Wireless Data Concentrator" eingeführt. Aufgabe dieses Geräts ist es, die Verbindung des proprietären drahtlosen Sensor-Netzwerks zu einem IP-basierten, i.A. drahtgebundenen Netzwerk herzustellen, das die verschiedenen Elemente der Kabinenelektronik mit dem Kabinenmanagementsystem verbindet. Bei Airbus ist hierfür ein Ethernet-basiertes Netzwerk eingeführt, das auch die Stromversorgung von angeschlossenen Geräten via "Power over Ethernet" übernehmen kann, sofern deren elektrische Leistungsaufnahme nicht zu hoch ist. Die energiesparende Auslegung des WDC war auch im Hinblick auf diese Technologie wichtig.

Der WDC besteht prinzipiell aus folgenden Komponenten:

- Prozessorboard
- 1-2 Transceiver-Modul(e)
- 1-4 Externe Antenne(n)

Die Realisierung erfolgte unter Nutzung eines kommerziell erhältlichen Prozessorboards, das ein kommerziell erhältliches SoC enthält, dessen Hauptprozessor auf der ARM-Architektur beruht, die sich weltweit zu einem de-facto-Standard für energie-sparende, leistungsstarke Rechner entwickelt hat (iPhone, iPad, Android-basierte Mobiltelefone).

Für den WDC und andere Anwendungen, die keinen eigenen Sensor benötigen, wurde eine für diesen Einsatz optimierte Variante des Sensormoduls mit externer Antenne realisiert.

Für die beiden Transceiver-Module wurde eine Trägerplatine vorgesehen, die auch einige Bauteile für die Stromversorgung des Geräts enthält.

Im Demonstrator wurde zunächst nur ein Transceiver-Modul mit einer Antenne realisiert. Die Knappheit der SoC-Bausteine die Tatsache, dass die auf dem WDC laufende Software von TriaGnoSys derzeit nur ein Sende-/Empfangsmodul unterstützt, waren für diese Auslegung bestimmend.

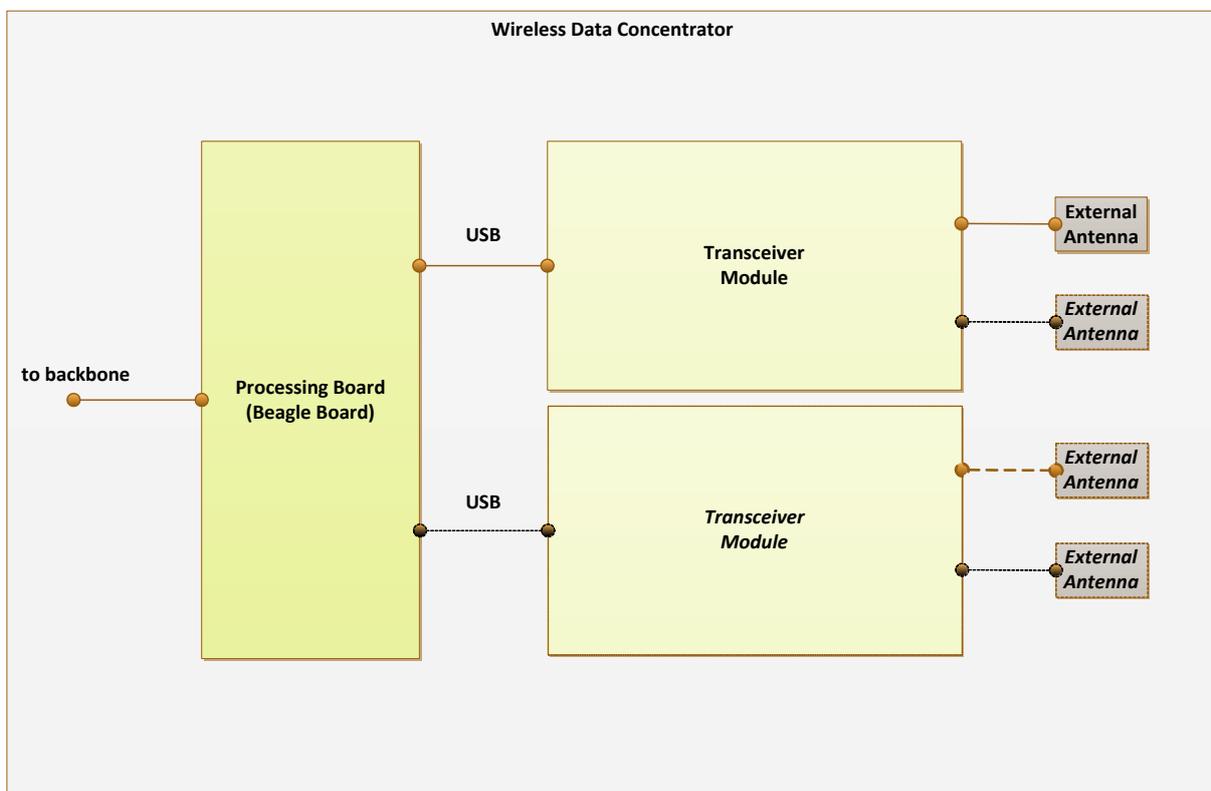


Bild 14: Prinzipieller Aufbau des WDC

Das realisierte Gerät hat folgende wesentlichen Eigenschaften:

- Abmessungen: 95x95x55mm
- Gewicht: ca. 350g
- Stromversorgung: Extern, 9...36V (DC), Leistungsaufnahme ca. 6W
- ARM-basierter Einplatinencomputer mit Linux-Betriebssystem

- Eingebautes Funkmodul
- Externe Antenne
- Schnittstellen: 2x USB, Ethernet, Bildschirm
- microSD-Speicherkarte für Betriebssystem und Anwendungssoftware
- 4 Status-LEDs

Die folgenden Bilder zeigt den realisierten Aufbau des WDC mit Sender/Empfängermodul (nicht sichtbar), Basisplatine und Beagle-Board (von oben nach unten).



Bild 15: Wireless Data Concentrator (WDC)



Bild 16: Wireless Data Concentrator (WDC)

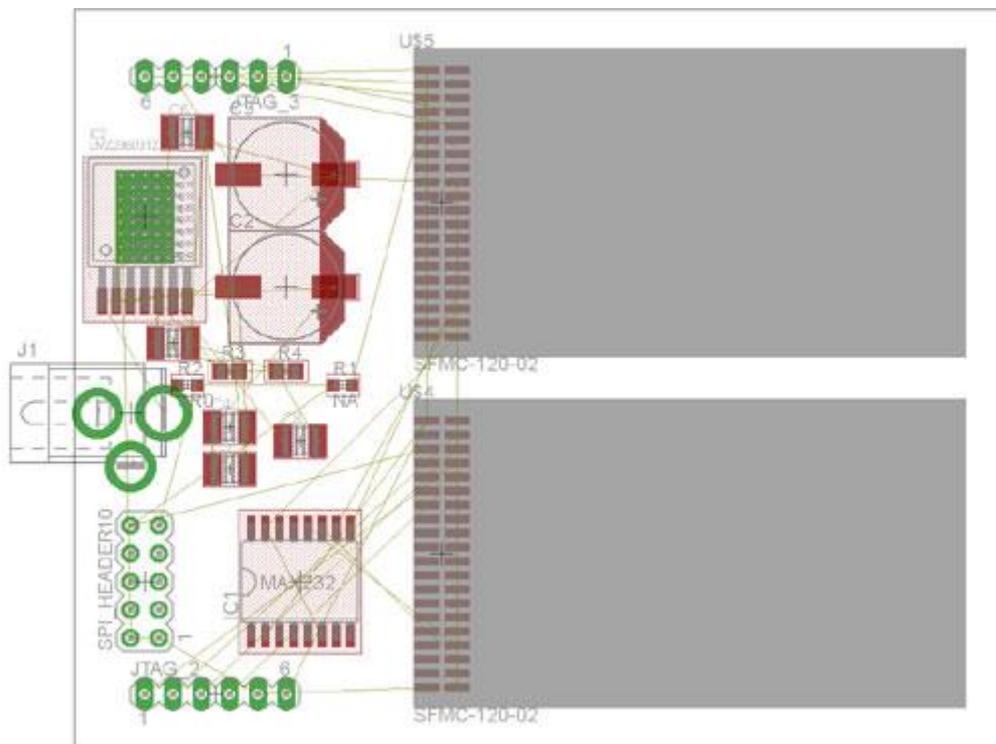


Bild 17: Basisplatine WDC (Vorentwurf)

## 7.8. AP430 - Kommunikationssoftware

Die Kommunikationssoftware besteht aus zwei wesentlichen Teilen:

- dem von EADS IW realisierten MAC-Layer, der die physikalische Datenübertragung steuert und die Organisation des Datennetzwerks enthält;
- der Control Management Software, die von TriaGnoSys beigestellt wurde, die die höheren Schichten des Übertragungsprotokolls realisiert und über einen Server die Schnittstelle zum Nutzer-Interface, dem sichtbaren Teil der Anwendungs-Software, bereitstellt.

Die Kommunikationssoftware, die auf dem IMST SoC-Baustein läuft, wurde von EADS IW auf Basis der SWAN-Software realisiert und als Binär-Bibliothek zur Verfügung gestellt. Von FAV wurde Integrationsunterstützung an EADS IW geleistet.

Die einzelnen Sensorknoten werden im Demonstrator über statische Adressen angesprochen, die sowohl im Sensorknoten als auch in einer Konfigurationstabelle des Servers fest eingestellt werden.

Für die Nutzung der Bibliotheksfunktionen in der sensorseitigen Anwendungssoftware musste ein Betriebssystem und die zugehörige Entwicklungsumgebung beschafft, installiert und konfiguriert werden, was einen gewissen Einarbeitungsaufwand erforderte.

Der WDC dient als Plattform für die Control Management Software, die auf Basis der SWAN-Software von TriaGnoSys zur Verfügung gestellt wurde. FAV übernahm neben der Integrationsunterstützung auch die Anpassung der Betriebssystem-Software, z.B. durch die Installation zusätzlicher Pakete.

Zur Kommunikationssoftware gehört weiterhin ein Server, der Teil des Kabinenmanagementsystems ist. Dieser wird über eine Konfigurationstabelle in die Lage versetzt, die vom HMI kommenden Anforderungen über den WDC an die einzelnen Sensorknoten weiterzuleiten und deren Antworten wiederum an das HMI weiterzugeben.

Die Interaktion zwischen den einzelnen Teilen der Kommunikationssoftware und der Anwendungssoftware ist im folgenden Kapitel dargestellt.

Die gesamte Kommunikationssoftware ist im Grundsatz anwendungsunabhängig. Sie ermöglicht sowohl die Kontrolle der Sensorknoten als auch die Übertragung von Daten in beiden Richtungen. Die Datenübertragung kann dabei sowohl vom Server aus angestoßen werden (Polling) als auch zeit- oder ereignisgesteuert vom Sensorknoten (nach entsprechender Aktivierung und Parametrisierung durch den Server) aus erfolgen.

Die Kommunikationssoftware ist im Augenblick noch nicht mit allen Fähigkeiten ausgestattet, die für einen energieoptimalen Betrieb erforderlich sind.

## 7.9. AP440 - Applikation

### 7.9.1. Überblick

Um dem Anspruch gerecht zu werden, eine universell nutzbare Plattform für die drahtlose Kommunikation zwischen Flugzeug-Systemen zu realisieren, wurde im Projekt ein weitgehend anwendungsunabhängiger Ansatz bei der Software gewählt. Die realisierten Anwendungen dienen somit primär dazu, die Nutzbarkeit dieser Hardware/Software-Plattform anhand von Beispielen zu demonstrieren und zu verifizieren.

Die in den Abschnitten 7.6 und 7.7 erläuterte Hardware-Plattform wurde ebenfalls unter Berücksichtigung dieses Ansatzes entwickelt.

Die Software gliedert sich in die applikationsunabhängigen Komponenten

- Low-Level-Software (IMST)
- MAC-Layer (EADS IW)
- Control Management (TriaGnoSys)
- Server (TriaGnoSys)

sowie die applikationsspezifischen Teile

- Applikationssoftware Sensorknoten (FAV, UTAS)
- Server-Interface (FAV, UTAS)
- HMI (Airbus)

Bild 18 zeigt die Verteilung der Software auf die Hardware-Plattform.

Die Realisierung erwies sich als eine anspruchsvolle Integrationsaufgabe, da z.B. auf dem SoC im Sensorknoten Software-Komponenten von drei Partnern sowie ein kommerzielles Echtzeit-Betriebssystem zu integrieren waren. Dies wurde dadurch erschwert, dass sich der SoC-Baustein selbst noch in einem experimentellen Stadium befindet und sowohl die Hardware als auch die Low-Level-Software und die Entwicklungsumgebung nicht als fehlerfrei angenommen werden konnten.

Die Integration aller Komponenten des Sensorknotens erfolgte schließlich parallel bei EADS IW und FAV, die Gesamtsystemintegration wurde bei Airbus und FAV durchgeführt.

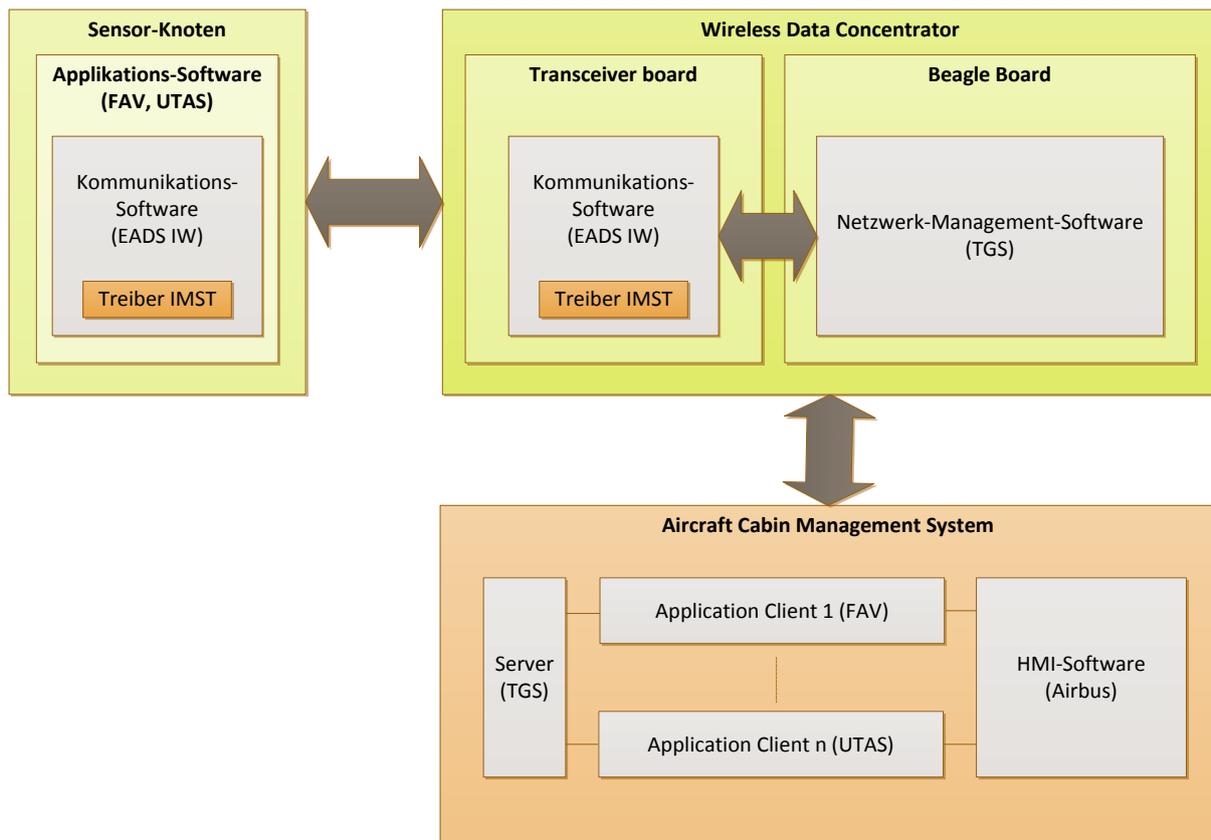


Bild 18: Software-Komponenten des Gesamtsystems

### 7.9.2. Anwendungssoftware Temperaturmessung

Die von FAV realisierte Anwendungssoftware besteht aus zwei Teilen.

Auf dem Sensorknoten wurde eine Software realisiert, die die Konfiguration und das Auslesen des digitalen Temperatur/Feuchte-Sensors durchführt und auf Anforderung über das Netz die Werte an den Server weiterleitet.

Im Rechner des Kabinenmanagementsystems arbeitet eine weitere von FAV entwickelte Software-Komponente, das sog. HMI.-Interface. Diese Komponente wurde entsprechend den Schnittstellenvorgaben seitens Airbus entwickelt. Die Aufgabe dieser Komponente ist es, das anwendungsspezifische, von Airbus entwickelte HMI mit dem anwendungsunabhängigen Server zu verbinden. In dieser Interface-Software werden die Abfragezyklen festgelegt und die Abfrage der Messwerte über das Netzwerk ausgelöst. Im Demonstrator wurde eine Abfragefrequenz von 0,5Hz gewählt.

### 7.9.3. Anwendungssoftware Türüberwachung

Die Anwendungssoftware Türüberwachung hat ebenfalls den in 7.9.2 beschriebenen grundsätzlichen Aufbau. Die Software auf dem Sensorknoten übernimmt in diesem Fall die Aufgabe, den integrierten Baustein für die berührungslose Erfassung des Zustands zu parametrisieren und regelmäßig abzufragen. Aus Gründen des energieoptimalen Betriebs wäre es wünschenswert, wenn durch den Sensorbaustein lediglich eine Zustandsänderung signalisiert würde und keine regelmäßige Abfrage und Übermittlung des Zustandes erforderlich wäre. Dies ist aus zwei Gründen problematisch. Zum einen kann eine eindeutige Erkennung des Zustandes durch den gewählten Baustein nur dann gewährleistet werden, wenn der Anfangszustand bekannt ist und ausgehend von diesem regelmäßig Messungen erfolgen. Zum anderen ist es unter Zulassungs- und Sicherheitsgesichtspunkten nicht möglich, den Sensorknoten nur bei Zustandsänderungen zu aktivieren, da dann im Server nicht mehr feststellbar ist, ob der Sensorknoten noch einwandfrei arbeitet.

### 7.10. AP510 - Labortest

Von IMST wurden Evaluation Boards sowie eine Sammlung von Software-Modulen zur Verfügung gestellt, mit denen die Basisfunktionen des SoC bedient werden können. Auf Basis dieses Pakets wurden einige Testroutinen realisiert, mit denen zunächst die Interfaces des SoC-Bausteins zu den digitalen Sensoren getestet werden konnten.

Die von FAV realisierten Hardware-Komponenten entstanden in mehreren Schritten, in denen sie jeweils getestet wurden. Zunächst wurden einzelne, als kritisch eingestufte Komponenten geprüft. Als Beispiel ist in Bild 19 die Durchlasskurve eines HF-Filters gezeigt, die mit einem Netzwerkanalysator vermessen wurde.

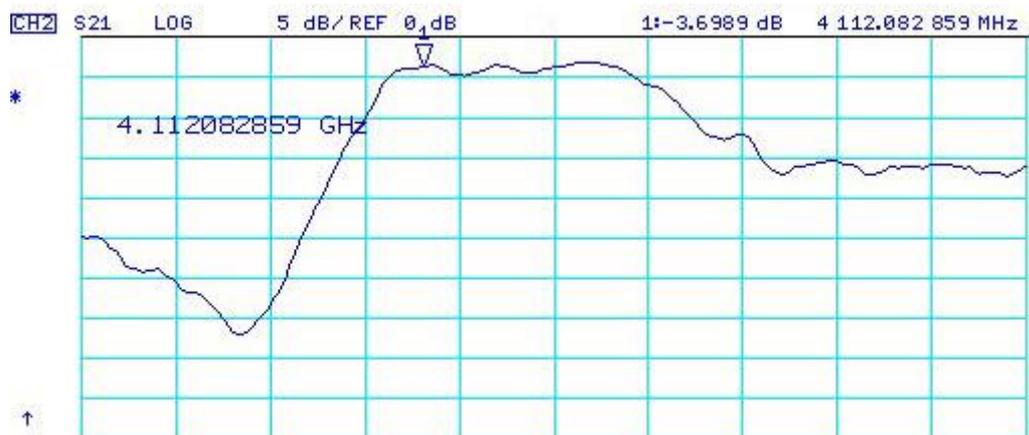


Bild 19: Durchlasskurve eines Filters

Nach dem Aufbau wurden die Module, insbesondere ihre digitalen Funktionen, unter Nutzung eines JTAG-Adapters geprüft.

Die HF-Aussendungen wurden mit Hilfe eines Spektrum-Analysers kontrolliert. Bild 20 zeigt beispielhaft das Sendespektrum eines WDC, der regelmäßig sog. Beacon-

Pakete ausstrahlt, die der Synchronisation des Netzwerks dienen. Die Bildschirmaufnahme entstand während der Integrationstests bei EADS IW auf einem dort vorhandenen Gerät.

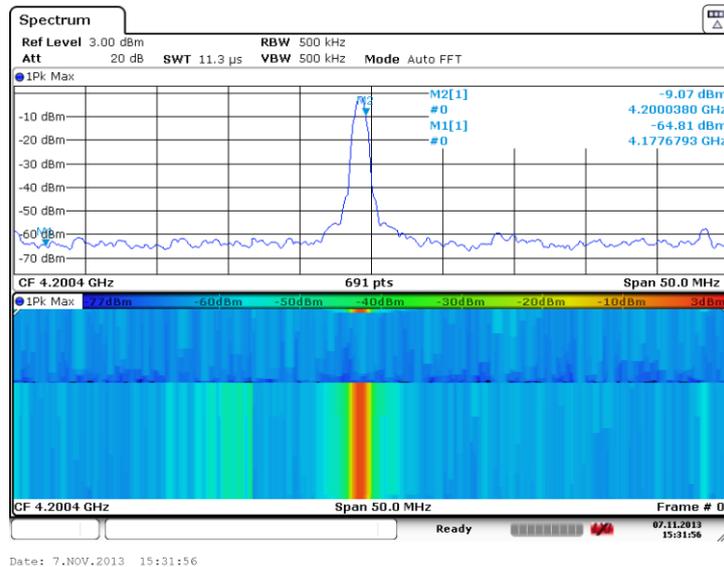


Bild 20: Sendespektrum eines WDC

## 7.11. AP520 - Flight Test

Die optional geplanten Flugversuche wurden von Airbus im Rahmen von PROTEG-O nicht durchgeführt. Das System wurde allerdings in einem Kabinen-Mockup (A330) demonstriert.

## 7.12. AP530 - Verifikation

Die Verifikation der Systemfunktionen erfolgte im FAV-Labor in Ulm und im Demonstrator bei Airbus in Hamburg. Aufgrund der im Projekt aufgetretenen Verzögerungen konnten die Systemleistungen nur qualitativ demonstriert werden.

Seitens FAV steht für die Fortsetzung der Arbeiten, die u.a. im Projekt KASI geplant ist, ausreichend Hardware zur Verfügung. U.a. wurden mehr als 10 Temperatur-Sensormodule realisiert und teilweise in Gehäuse verbaut, mehrere Sensormodule für die Anwendung Türüberwachung und einige WDCs. Die Hardware befindet sich teilweise bei den Partnern, teilweise bei FAV.

Insgesamt standen FAV ca. 30 SoC-Bausteine zur Verfügung.

Bild 21 gibt einen Überblick über einen Teil der in PROTEG-O realisierten Module vor dem Einbau in die entsprechenden Gehäuse. Zu erkennen sind u.a. die Prozessor-Boards des WDC (rot, Kaufteile), Trägerplatinen des WDC, Sende-Empfangsmodule für den WDC, Temperatur-Sensormodule, Stromversorgungs-Module für das den Sensorknoten Temperaturmessung, ein Sensorknoten Türüberwachung sowie diverse Adapter und Antennen.



Bild 21: PROTEG-O-Hardware (Auswahl)

### 7.13. Abschlussbetrachtung

Im Vorhaben PROTEG-O konnten in enger Zusammenarbeit mit den Projektpartnern wesentliche Fortschritte bei der Realisierung von drahtlosen Sensornetzwerken für Flugzeuganwendungen erzielt werden.

FAV hat dabei neben Beiträgen zu grundsätzlichen Untersuchungen und zur Spezifikation eines WSN-Systems für die Realisierung von Anwendungen in der Flugzeugkabine schwerpunktmäßig an der Realisierung der Hardware-Komponenten einer Demonstrator-Plattform gearbeitet.

Der von IMST entwickelte SoC-Baustein konnte erfolgreich genutzt werden, um ein funktionsfähiges Netzwerk im 4,3GHz-Frequenzbereich zu realisieren.

Die Aufwendungen innerhalb des Vorhabens für die Realisierung des Systems waren höher als erwartet. Die Systemverifikation konnte deshalb nicht in der erhofften Tiefe durchgeführt werden.

Im weiteren Umfeld wurde sichtbar, dass drahtlose Sensornetzwerke erste operationelle Anwendungen im Flugzeugbereich erfahren haben. Diese bewegen sich regulatorisch in einem Graubereich, da sie u.U. Frequenzen nutzen, die nicht in allen Teilen der Welt für derartige Anwendungen zugewiesen sind.

Die Bemühungen um die Zuweisung eines weltweit Luftfahrt-exklusiven Frequenzbereichs für derartige Netzwerke haben Fortschritte gebracht. Die offizielle Zuweisung wird jedoch nicht vor 2015 erfolgen.

Im Vorfeld einer industriellen Nutzung der Ergebnisse sind neben der Zuweisung eines weltweit nutzbaren Frequenzbereichs weitere Voraussetzungen zu schaffen.

Die Fragen der Standardisierung werden derzeit von einer Arbeitsgruppe der EUR-CAE bearbeitet, an der FAV zukünftig mitarbeiten wird.

Die Verfügbarkeit des SoC-Bausteins in einer voll qualifizierten Ausführung, in industriellen Stückzahlen und zu marktverträglichen Preisen ist ein weiterer wesentlicher Erfolgsfaktor und zwingende Voraussetzung für die industrielle Verwertung der Ergebnisse des Vorhabens.

## 8. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die in PROTEG-O erzielten Ergebnisse stellen einen wesentlichen Fortschritt auf dem Weg zu einer industriellen Nutzung von drahtlosen Sensornetzwerken in Flugzeugen dar. Das vollständige Sensornetzwerk, wie es in PROTEG-O demonstriert wurde, basiert auf der Integration der Ergebnisse aller Projektpartner. Ein operationelles System nutzt sowohl die Software der Partner Airbus (mit UAN EADS IW), TriaGnoSys, IMST und FAV als auch die Hardware von IMST und FAV. Die Kooperationsvereinbarung zu diesem Vorhaben ermöglicht grundsätzlich allen Teilnehmern den Zugang zu den Ergebnissen der anderen Teilnehmer auch nach Abschluss des Vorhabens zu wirtschaftlich sinnvollen Konditionen. Im Hinblick auf die gemeinsame Verwertung der Ergebnisse wurden deshalb erste Sondierungsgespräche mit allen Partnern initiiert oder bereits durchgeführt.

Es besteht zwischen den Projektpartnern Übereinstimmung darin, dass die Arbeiten an der WSN-Technologie gemeinsam im LuFo-Projekt KASI fortgeführt werden sollen.

Zur Verwertung der Ergebnisse fand am 25.11.2011 ein Gespräch mit Airbus statt. Hierin konnten die angedachten Verwertungsansätze weitgehend bestätigt werden. Darüber hinaus gab es Anfragen aus dem PROTEG-Umfeld zu weiteren Verwertungsmöglichkeiten, die im 1. HJ 2012 weiter verfolgt werden sollen.

Am 03.05.2012 fand ein Gespräch beim Institut für Bauphysik der FhG in Holzkirchen statt. Hierbei wurden die Möglichkeiten sondiert, die in PROTEG-O entwickelte drahtlose Sensortechnologie in der "Flight Test Facility" des Instituts oder bei Raumklimamessungen in historischen Gebäuden einzusetzen. Der Dialog soll fortgeführt werden, sobald in PROTEG-O nutzbare Geräte zur Verfügung stehen.

Am 11.07.2012 fand ein Sondierungsgespräch bei Fa. Steute Schaltgeräte, Löhne, statt. Die Firma fertigt eine große Palette an vorwiegend kundenspezifischen Schaltgeräten für industrielle und medizintechnische Anwendungen. Diese werden zunehmend auch mit drahtloser Übertragung auf Basis handelsüblicher Schaltkreise ausgestattet.

Konkrete Vorteile der PROTEG-O-Technologie für die Anwendungsgebiete der Fa. Steute konnten nicht identifiziert werden, allerdings ergaben sich nützliche Hinweise für die Realisierung der Anwendung "Türüberwachung".

## 9. Fortschritt bei anderen Stellen

Während der Laufzeit des Vorhabens konnten im Umfeld Entwicklungen beobachtet werden, die insgesamt dafür sprechen, dass drahtlose Sensornetzwerke eine attraktive Zukunftstechnologie darstellen.

Die Bemühungen um die Zuweisung eines weltweit nutzbaren, Luftfahrt-exklusiven Frequenzbandes wurden durch das WAIC-Konsortium fortgesetzt. Mit einer Entscheidung wird bei der ITU World Radio Conference 2015 gerechnet. Siehe hierzu die Literaturverweise [LV-3] [LV-4] [LV-5] und [LV-10].

Eine Patentanmeldung der Fa. Boeing wurde in 2013 bekannt (siehe [LV-1]). Für eine juristische sowie technische Bewertung und ggf. Anfechtung dieser Anmeldung stehen FAV keine ausreichenden Ressourcen zur Verfügung. Es wird davon ausgegangen, dass Airbus ggf. entsprechende Schritte unternimmt. Dies wurde mündlich abgestimmt.

Airbus hat seinerseits eine Reihe von Patentanmeldungen eingereicht (siehe z.B. [LV-11]), zu denen aber derzeit noch keine Details bekannt sind. Sie sollten einer Verwertung der Ergebnisse des Vorhabens aufgrund der geschlossenen Kooperationsvereinbarung jedoch eher dienlich sein und keinesfalls ein Hindernis darstellen.

Die seit längerem bekannten Lösungen für drahtlose Kommunikation zwischen Flugzeugsystemen, die von der US-Firma Securaplane angeboten wurden, haben inzwischen nach Herstellerangaben Anwendung in der Boeing 787 gefunden. Es ist im Einzelnen nicht bekannt, auf welcher regulatorischen Grundlage diese Systeme betrieben werden und welche Frequenzbereiche genutzt werden.

Vergleicht man die Veröffentlichungen zu diesem Thema, so stellt man fest, dass neben der anfänglichen Euphorie, wie sie von den Flugzeugherstellern vor rund 10 Jahren verbreitet wurde, eine gewisse Skepsis festzustellen ist, wie sie sich z.B. in [LV-8] manifestiert. Die Hauptprobleme sind, wie in der Luftfahrtindustrie nicht ganz unüblich, in den Bereichen Regularien/Zulassung und Standardisierung zu finden.

## **10. Veröffentlichungen, Vorträge**

### **10.1. Veröffentlichungen und Vorträge**

Veröffentlichungen: Keine

Vorträge: Keine

### **10.2. Liste der erstellten Dokumentation**

Im Rahmen des Projekts wurden die folgenden wesentlichen Dokumente durch Funkwerk Avionics erstellt und innerhalb des Projektteams verteilt:

[DOC-FAV-1]	Interference Summary. Präsentation 18.5.2011
[DOC-FAV-2]	SNS Control Management – SN Client Application Interface Control Document.V1.3
[DOC-FAV-3]	Temperature Sensor Node Description. V1.2
[DOC-FAV-4]	WDC Description. V1.1
[DOC-FAV-5]	Angewandte Kabinennetzwerke (PROTEG-O), Abschlussbericht (das vorliegende Dokument)

Weiterhin wurden zahlreiche Präsentationen zu technischen Einzelaspekten erstellt und bei den technischen Abstimmungstreffen vorgestellt und diskutiert. Die Ergebnisse wurden zusammenfassend auf einem Poster dargestellt, das Airbus zur Verfügung gestellt wurde.

FAV lieferte Beiträge zu folgenden Dokumenten, die von Airbus erstellt wurden:

CabWiSe D210.1	System Requirements Document
CabWiSe D220.2	System Specification
CabWiSe D510 2	Demonstrator Specification

## Anhang: Literaturverzeichnis

- [LV-1] United States Patent No. US 8,344,912 B2  
Mitchell et al., The Boeing Company, Jan.1, 2013.
- [LV-2] Wireless Sensor Network for Aircraft Health Monitoring  
Haowei Bai e.a., Proceedings of the First International Conference  
on Broadband Networks (BROADNETS'04), 2004
- [LV-3] Wireless Avionics Intra-Communications (WAIC)  
Agenda Item 1.17 Update and Status on implementing of a regulatory  
framework for WAIC  
Presentation for ICAO Regional Meeting Lima, Peru March, 2012
- [LV-4] CEPT Electronic Communications Committee  
3rd Meeting CPG PTC, Bucharest, 8-11 October 2013:  
Updates of relevant information from outside CEPT contained in the  
draft CEPT Brief for WRC-15 Agenda Item 1.17.
- [LV-5] Report ITU-R M.2197 (11/2010)  
Technical characteristics and operational objectives for wireless avi-  
onics intra-communications (WAIC)
- [LV-6] A Summary Review of Wireless Sensors and Sensor Networks for  
Structural Health Monitoring. Jerome P. Lynch and Kenneth J. Loh,  
The Shock and Vibration Digest, Vol. 38, No. 2, March 2006 91–128
- [LV-7] Product brochure "Wireless emergency lighting system"  
Securaplane, USA
- [LV-8] Wireless Avionics Intra-Communications Technology Not Slated for  
Takeoff Any Time Soon. Cary Adickman and Deborah Broderson,  
Hogan Lovells Global Media and Communications Watch,  
27.11.2013
- [LV-9] Wireless Sensor Networks for Use in Aircraft Systems Monitoring.  
Michael Sessinghaus, Silver Atena, Aerospace Testing 2011, Ham-  
burg, 5.-7.4.2011
- [LV-10] Agenda Item 1.17 Wireless Avionics Intra-Communications (WAIC)  
Joseph Cramer, The Boeing Company.  
Presentation for [ITU] Working Parties 5A, 5B, 5C.  
Workshop on Preparations for WRC-15, May 23, 2012
- [LV-11] Airbus Patent Application "WIRELESS NETWORK FOR CONTROL-  
LING THE OXYGEN SYSTEM OF AN AIRCRAFT."  
Applicants: AIRBUS OPERATIONS GMBH (DE).  
Inventors: Jan Mueller (DE), Frank Leuenberger (DE) and Heiko Tru-  
sch (DE).
- [LV-12] Frequenznutzungsplan, Stand: August 2011. Bundesnetzagentur