

# AVIGLE – ENTWICKLUNG EINER AUTONOMEN SERVICE PLATTFORM

J. Holsten, T. Ostermann, S. Löchelt, D. Moormann

Lehrstuhl für Flugdynamik, RWTH Aachen, Wüllnerstr. 7 52062 Aachen, Deutschland

## Zusammenfassung

Der Lehrstuhl für Flugdynamik arbeitet seit vielen Jahren auf dem Gebiet der Entwicklung autonomer UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) und ist im Rahmen des Projekts AVIGLE für die Entwicklung einer unbemannten Flugplattform verantwortlich. AVIGLE ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt unter der Leitung des CNI der TU Dortmund, in dem eine autonome, im Schwarm agierende Service Plattform für unterschiedliche Szenarien entwickelt werden soll. Konkrete Anwendungen sind hierbei die hochpräzise Bilderfassung einer großflächigen Region zur Erstellung einer virtuellen 3D-Welt und der Aufbau von dynamischen ad hoc on demand Funknetzen zur Bereitstellung von Mobilfunkressourcen bei Großveranstaltungen und in anderen Situationen mit unzureichender Netzabdeckung. In diesem Beitrag wird eine Übersicht über das Projekt sowie ein Ausblick auf die nächsten Arbeitspunkte und das weitere Vorgehen gegeben. Der Schwerpunkt liegt hierbei auf der Auslegung des Fluggeräts und der Spezifikation und Umsetzung der dynamischen Netzplanung, die sich wiederum auf das Flugführungssystem auswirkt.

## 1. EINLEITUNG

Das AVIGLE Projekt wurde im Rahmen des von der Europäischen Union und dem Land Nordrhein-Westfalen initiierten Förderwettbewerbs Hightech.NRW (2. Aufruf) ausgewählt und wird über drei Jahre bis Ende 2012 laufen. Innerhalb dieser Zeit wird neben einer Simulation der gesamten Komponenten und ihrer Funktionalität sowohl ein Early- als auch ein Final-Demonstrator gebaut werden. Zurzeit befindet sich das Projekt in der Spezifikationsphase der einzelnen Systeme.

An dem interdisziplinären Forschungsprojekt sind insgesamt 10 Projektpartner aus Industrie und Forschung beteiligt. Initiator des Projekts ist das Communication Networks Institute (CNI) der TU Dortmund. Innerhalb des Projektes werden zwei konkrete Anwendungen untersucht und realisiert. Zum einen sollen digitale Bilder einer großflächigen Region erfasst werden, die in Quasi-Echtzeit verarbeitet und anschließend als virtuelle 3D-Welt dargestellt werden. Hierfür werden die aufgenommenen Bilddaten über ein Hochleistungsfunknetz von den einzelnen Fluggeräten an eine Bodenstation übertragen und dort direkt weiterverarbeitet. Die zweite Anwendung, der ad hoc on demand Aufbau von dynamischen Funknetzen zur Bereitstellung von Mobilfunkressourcen, wird durch eine LTE-Basisstation als Nutzlast realisiert. LTE (3GPP Long Term Evolution) ist ein Mobilfunkstandard, der auf UMTS folgen soll.

Es gibt bereits Projekte, in denen in AVIGLE vorkommende Teilespekte untersucht werden. Chen [1] stellt funktionelle Formationen für UAVs vor, die zusammen nach mobilen Zielen suchen und dabei Hindernissen ausweichen müssen. Aspekte der Kommunikation zwischen den UAVs und zum Boden werden allerdings nicht berücksichtigt. Der Kommunikationsaspekt wird in Teilen von Lindhe [2] und Mosto [3], die sich mit Bewegungsmodellen unter Berücksichtigung von Kommunikationsaspekten beschäftigen, dargelegt. Des Weiteren stellt Esposito [4] einen analytischen Ansatz zur Verwendung von Potentialfeldern [5] vor, die sowohl zur Hindernisvermeidung als

auch zur Erhaltung der Kommunikationslinks unter Berücksichtigung der Reichweite dienen. Die Nachfrage an 3D-Visualisierungsprozessen und Anwendungsmöglichkeiten werden von Baoxuan [6] dargestellt. Zurzeit werden solche Bildaufnahmen aus Flugzeugen aufgenommen und dann mit referenzierten Basisdaten der Region kombiniert [7]. Zur Reduzierung der Datenmengen, die von Grafikkarten verarbeitet werden, müssen Vereinfachungsalgorithmen für die Darstellung von den Bildaufnahmen kombiniert mit den geometrischen Daten verwendet werden [8]. Systeme und Anwendungen zur Darstellung von 3D-Modellen sind bereits verfügbar [6,8], allerdings benötigen die meisten dieser Systeme manuelle Prozesse und benötigen bis zu mehreren Wochen Zeit, bis die aufgenommenen Daten in 3D visualisiert werden können.

Das Projekt lässt sich in die folgenden vier inhaltlich unterschiedlichen Arbeitsbereiche untergliedern:

- Auslegung und Bau der Flugplattform,
- Teamstrategien und dynamische Netzplanung,
- Avionische Kommunikation
- Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung.

Im folgenden Abschnitt werden zuerst die einzelnen geplanten Demonstrationsszenarien zusammengefasst. Anschließend wird zu jedem Arbeitsbereich auf die bestehenden Anforderungen, wesentlichen Herausforderungen und Innovationen sowie auf das geplante Vorgehen eingegangen. Außerdem werden die Auswirkungen und Schnittstellen dieser Arbeitspakete bezüglich der Auslegung der Flugplattform dargestellt und analysiert.

Zum Schluss wird auf die Entwicklung der Flugplattform eingegangen. Besondere Anforderungen an die Flugplattform, die aus der geplanten Nutzlast sowie Zulassungskriterien entstehen, werden dargestellt. So ergab sich aus den bestehenden Aspekten zum Beispiel die Forderung nach einer schwebefähigen Flugplattform, die allerdings auch in höheren Geschwindigkeitsbereichen energieeffizient arbeiten soll. Dies führte u.a. zur Auswahl eines Tiltwing-Konzeptes, welches die Vorteile von aerodynamischen Konfigurationen mit der Schwebefähigkeit verbindet.

det. Ein weiterer Punkt dieses Beitrages ist die Planung der Flugbahn. Sie soll autonom unter Berücksichtigung der globalen Missionsziele sowie der Anforderungen aus den Teamstrategien geschehen.

## 2. MISSIONEN UND SZENARIEN

Im Rahmen der Anforderungsanalyse wurden basierend auf der mit dem Projektantrag eingereichten Skizze [9] unterschiedliche, mögliche Szenarien für AVIGLE definiert. Hauptunterschied zwischen den Szenarien ist der Anwendungszweck, wobei man die ausgewählten Szenarien in die zwei Gruppen, visuelle Nutzlast zur Bilderfassung und Kommunikationsnutzlast zum Aufbau von Mobilfunknetzen, unterteilen kann. Die beiden Anwendungsszenarien sind in BILD 1 und BILD 1 visualisiert.

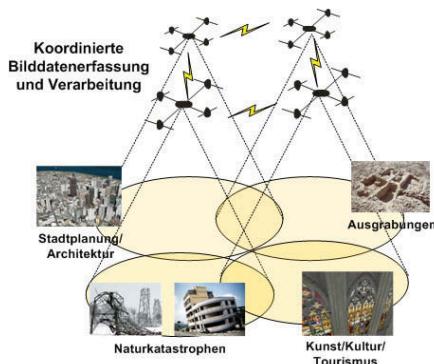


BILD 1. Anwendungsszenarien mit einer hochauflösenden Kamera als Nutzlast [9].

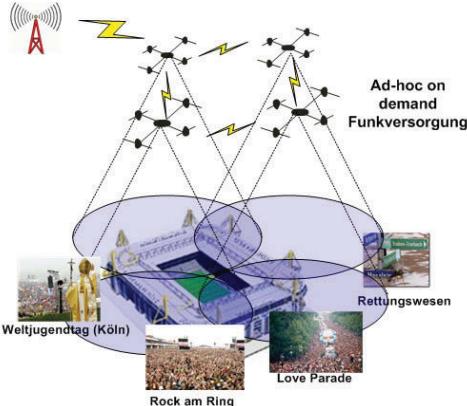


BILD 2. Anwendungsszenarien mit einer LTE Basisstation als Nutzlast [9].

### 2.1. Bilderfassung

Ein mit digitalen Kameras ausgestatteter Schwarm von UAVs soll eine gesamtes Gebiet, z.B. eine Stadt oder Industrieanlage, erfassen und die Bilder über ein Hochleistungsfunknetz an die Bodenstation übertragen. Dort soll durch Verknüpfung der Bilder eine virtuelle Welt in Quasi-Echtzeit erstellt werden. Diese kann beispielsweise Architekten, Stadtplaner oder auch Rettungskräfte im Katastrophenschutz unterstützen. Diese allgemeine Beschreibung lässt sich in unterschiedliche konkrete Anwendungen unterteilen aus denen sich die Anforderungen an die einzelnen Systeme und Subsysteme ergeben.

Die Objektüberwachung, bzw. Sicherung von Industrieanlagen zum Erkennen von Schäden oder als Baubestandsaufnahme ist eins der möglichen Anwendungsszenarien. Neben visuellen Sensoren könnten auch Thermal- oder Gassensoren verwendet werden. Da Objekte, wie Industrieanlagen, meistens vorab bekannt sind, könnte die Missionsplanung und das Bewegungsprofil des Schwarmes im Voraus geplant werden. Die Distanz von den UAVs zu dem zu untersuchenden Objekt soll voraussichtlich 5-50 m betragen.

Bei der Erstellung eines räumlichen, detaillierten 3D La-gebildes zur Aufklärung kann nur die Missionsplanung nicht aber die Planung des gesamten Bewegungsprofils vorab geschehen, da nicht das gesamte Areal bekannt ist. Allerdings ist auch der Abstand zu den aufzunehmenden Objekten wesentlich größer, so dass mehr Platz zum Navigieren im Fall von unbekannten Hindernissen gegeben ist.

### 2.2. Aufbau von dynamischen Funknetzen

Ein zweites Ziel ist der Aufbau von dynamischen Funknetzen mittels UAVs, die je nach Bedarf die Versorgung bei Großveranstaltungen sicherstellen. Hierfür soll der Mobilfunkstandard LTE, der als UMTS Nachfolger im Rahmen des 3GPP definiert ist, verwendet werden. Zur Unterstützung bzw. Aufbau von überlasteter, zerstörter oder nicht vorhandener Infrastruktur, soll der UAV Schwarm mit Hilfe von LTE Basisstationen als Nutzlast ein dynamisches Funknetz aufbauen. Dies kann im Katastrophfall ebenso wie bei Großveranstaltungen genutzt werden. Bei diesem Szenario spielt vor Allem die Entwicklung einer geeigneten LTE-Basisstation (leicht und energieeffizient) und geeigneter Bewegungsalgorithmen zur optimalen Abdeckung des gewünschten Gebietes eine Rolle.

## 3. PROJEKTSTRUKTUR

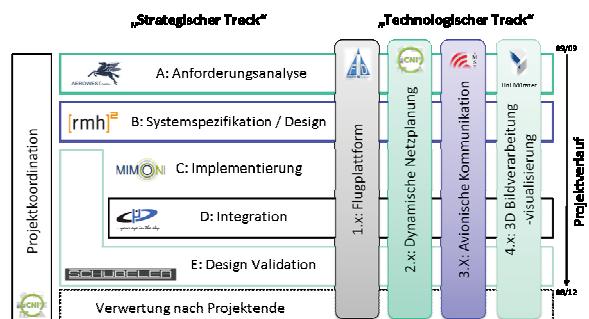


BILD 3. Projektstruktur von AVIGLE [9].

Das Projekt gliedert sich, wie in BILD 3 dargestellt, in einen technologischen und einen strategischen Track. Im technologischen Track sind die vier inhaltlich abgegrenzten Arbeitspakete definiert. Der strategische Track ist an die unterschiedlichen Projektphasen angelehnt und in die folgenden fünf Phasen unterteilt:

- Anforderungsanalyse
- Systemspezifikation / Design
- Implementierung
- Integration
- Design Validation

Jede Phase des strategischen Tracks wird von einem Unternehmen geleitet, wobei der technologische Track

von den Universitäten und der Firma IMST geleitet wird.

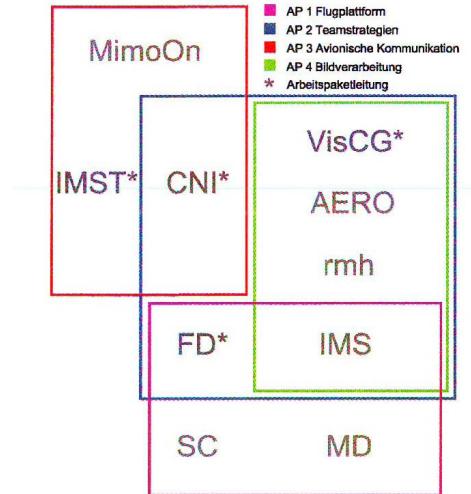


BILD 4. Übersicht über die Arbeitspakete und Projektpartner.

Die Projektpartner arbeiten schwerpunktmäßig in einem bis zwei der vier Arbeitspakete mit, wobei insbesondere das zweite Arbeitspaket, Teamstrategien und dynamische Netzplanung als übergreifend angesehen werden kann, wie in BILD 4 verdeutlicht. Die folgenden Unternehmen und Institute sind an dem Projekt beteiligt:

- Das Communication Networks Institute der TU Dortmund (CNI) fungiert als Projektkoordinator und Arbeitspaketleiter Teamstrategien und dynamische Netzplanung. Des Weiteren arbeitet es an dem Arbeitspaket 3, avionische Kommunikation, mit.
- Die Firma Microdrones (MD), Hersteller von Quatror-koptern aus Siegen, arbeitet in dem Arbeitspaket 1, Entwicklung der Flugplattform, mit.
- Die Firma Schübler Composite (SC) ist hauptsächlich für die Auslegung der Struktur und Antriebe im Arbeitspaket 1, Entwicklung der Flugplattform, verantwortlich.
- Die Firma MimoOn ist ein führender und unabhängiger Lieferant von LTE-Protokoll- und LTE-Physical-Layer-Software und arbeitet daher im Arbeitspaket 3, avionische Kommunikation, mit.
- IMST ist ein Entwicklungsdienstleister im Bereich drahtloser Kommunikation und Mikroelektronik und ist Arbeitspaketleiter des Arbeitspakets 3, Avionische Kommunikation.
- Der Lehrstuhl für Flugdynamik der RWTH Aachen (FD) hat die Arbeitspaketleitung für die Entwicklung der Flugplattform und arbeitet an dem Arbeitspaket 2, Teamstrategien und dynamische Netzplanung, mit.
- Das Fraunhofer Institut für Mikroelektronische Schaltungen und Systeme (IMS) arbeitet in Arbeitspaket 1 hauptsächlich an der Entwicklung einer 3D-ToF (Time of Flight) Kamera zur Hindernisvermeidung hat allerdings auch Arbeitsanteile in den Arbeitspaketen 2, Teamstrategien und dynamische Netzplanung, und 4, Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung.
- Die Firma rmh arbeitet hauptsächlich im Bereich der Virtuellen Realität. Schwerpunkte innerhalb des Projektes liegen in der Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung. rmh hat darüber hinaus noch kleine Anteile in dem Arbeitspaket Teamstrategien und dynamische Netzplanung.
- Die Firma Aerowest (AERO) befasst sich mit Geodatenfassung aus hochpräzisen Luftbildaufnahmen.

Innerhalb von AVIGLE arbeitet Aerowest an der Bildfassung in Arbeitspaket 4 und teilweise an der dynamischen Netzplanung in Arbeitspaket 2 mit.

- Der Lehrstuhl für Visualisierung und Computergrafik des Instituts für Informatik der WWU Münster (VisCG) fokussiert sich in der Forschung auf die Entwicklung von interaktiven Visualisierungstechniken und echtzeitfähigen, computergrafischen Algorithmen. Er hat die Arbeitspaketleitung von Arbeitspaket 4, Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung, und arbeitet zusätzlich in Arbeitspaket 2, Teamstrategien und dynamische Netzplanung mit.

Eine detaillierte Beschreibung der aktuellen Arbeiten und Ergebnisse der einzelnen Arbeitspakete ist in [10] gegeben.

### 3.1. Flugplattform

Ziel des Arbeitspaket 1 ist die Entwicklung, Auslegung und Demonstration einer Flugplattform, die als Dienstplattform für die in den Szenarien beschriebenen Anwendungen dient. Sie soll außerdem innerhalb eines Verbundes unbemannter Fluggeräte operieren. Zeitlich lässt sich das Arbeitspaket in die oben genannten Phasen des strategischen Tracks gliedern. Zu Beginn werden die Anforderungen an Fluggeräte und Ausrüstung in Abhängigkeit von den angestrebten Missionseigenschaften analysiert. Insbesondere die Anforderungen, die sich aus der Nutzlast zur Bilddatenerzeugung und Kommunikation in den anderen Arbeitspunkten ergeben, müssen hierbei berücksichtigt werden. Ausgehend von den Anforderungen wird die Flugplattform spezifiziert und ausgelegt. Nennenswerte Punkte bei der Bearbeitung des Flugführungssystems sind die Systemarchitektur, Betriebsarten, mathematische Modellierung und die Auslegung der Algorithmen für Bahnführung, Kooperation im Verbund, Hindernisvermeidung und Fehlerverhalten. Ein erster Überblick über das Zusammenspiel der einzelnen Systeme und Funktionalitäten der Flugplattform ist in BILD 5 gegeben.

#### Systeme und Funktionalität der Flugplattform

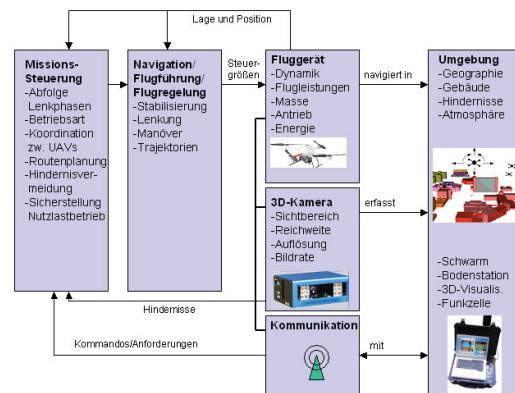


BILD 5. Systeme und Funktionalität der Flugplattform.

In der Implementierungsphase werden die Ergebnisse der Spezifikation der verschiedenen Aspekte für die Teilsysteme umgesetzt. Mit Hilfe einer zu erstellenden Simulation können die Dynamik der Fluggeräte und die Eigenschaften des Flugführungssystems und des Nutzlastbetriebs untersucht und in der 3D-Visualisierung des Arbeitspakets 4 dargestellt werden. Hierzu werden operationsnahe Test-

szenarien eingesetzt.

Mit der Integration werden die Einzelarbeiten der Partner in die Fluggeräte zusammengeführt. Am Schluss der Arbeiten steht deren Demonstration. Hierbei stehen der Nachweis des Konzeptes und die Erfüllung der geforderten Leistungsparameter bezüglich Gesamtsystem, Fluggerät und Nutzlast sowie der darin enthaltenen Komponenten im Vordergrund.

### 3.2. Teamstrategien und Netzplanung

Ziel des Arbeitspakets 2 ist die Entwicklung von Teamstrategien und Mobilitätsmodellen. Hierbei sind vor allem die Erhaltung der avionischen Kommunikationsnetze und Anforderungen aus der perspektivischen Luftbilddatenerfassung von Relevanz. Des Weiteren werden in diesem Arbeitspaket visueller Sense & Avoid Algorithmen entwickelt. Die Untersuchung der unterschiedlichen Mobilitätsmodelle und Teamstrategien des UAV Schwarms erfolgt zunächst simulativ. Hierbei wird neben möglichen Algorithmen zur Selbstorganisation auch das Bewegungsverhalten der Fluggeräte berücksichtigt. Des Weiteren soll das Potential unterschiedlicher Formationsbildungen und in anderen Technologiebereichen verwendeter Methoden, wie A\* oder Metaheuristiken analysiert werden. Bei allen Verfahren muss eine Konnektivität zwischen den Fluggeräten und zur Bodenstation gewährleistet sein. Die Formationsbildung muss außerdem sicherstellen, dass das Funkfeld am Boden sich dem Nutzerverhalten anpasst und möglichst lückenfrei ist. Hierbei ist eine Clusterbildung, wie von Daniel [11] beschrieben, zu vermeiden. Zur Unterstützung der on board Hindernisvermeidung werden die Bildinformation der einzelnen Teammitglieder direkt an alle anderen Fluggeräte des Schwarms und über die Bodenstation in Form einer gesammelten Hinderniskarte übermittelt. Neben den funkfeldsensitiven Mobilitätsmodellen und einer visuellen Einsatzplanung beschäftigt sich das Arbeitspaket außerdem mit der Multiskalensimulation aller Systeme und der Validation.

### 3.3. Avionische Kommunikation

Im Rahmen des Arbeitspakets 3, avionische Kommunikation, sollen die Kommunikationsschnittstellen des Gesamtprojektes definiert werden. Des Weiteren werden noch nicht verfügbare Kommunikationselemente entwickelt und das Design und die Simulation von intelligenten Routingalgorithmen analysiert. Inhaltlich lässt sich das Arbeitspaket in die folgenden Schwerpunkte gliedern:

- Kommunikationsinfrastruktur als verteilte Plattform (auf mehreren Fluggeräten)
- Simulation und Design von Routingalgorithmen
- Schwarmkooperatives positionsabhängiges Routing
- LTE Mobilstation zur Anbindung an vorhandene Infrastruktur
- Vermischte Strukturen zur Kommunikation zwischen den UAVs
- Ad hoc Mobilfunkversorgung
- Vertical Handover für zuverlässige Übertragung zwischen den mobilen LTE Stationen
- Funktionsmuster und Validierung

Zur Übertragung der Bilddaten oder sonstiger Nutzlastdaten von den Fluggeräten an die Bodenstation wird eine LTE-Mobilstation standardmäßig auf allen Fluggeräten mitfliegen. Die Kommunikation zwischen den Fluggeräten

erfolgt über WiFi. Zur ad hoc Mobilfunkversorgung wird durch zusätzlichen Pico- oder Femtozellen die Kapazität des Netzwerks erhöht. Hierfür wird anstelle eines visuellen Sensors eine LTE Basisstation als Nutzlast mitgenommen. Die Auslegung der einzelnen Systeme erfolgt in Arbeitspaket 3, die Integration in die Flugplattform wird in enger Zusammenarbeit mit dem Arbeitspaket 1 erfolgen.

### 3.4. Bildverarbeitung und 3D-Visualisierung

In Arbeitspaket 4 solle ein standardisierter Ablauf von der Bildaufnahme durch Kameras bis zur Generierung dreidimensionaler Modelle entwickelt werden. Außerdem sollen unterschiedliche Darstellungskonzepte für die 3D-Visualisierung in Echtzeit und intuitive Navigations- und Interaktionskonzepte analysiert werden. Inhaltlich lässt sich das Arbeitspaket in acht Schwerpunkte unterteilen:

- Luftbildaufnahmen
- Registrierung
- Datenaufbereitung
- Datenpartitionierung
- Visualisierung
- Navigation und Interaktion
- Virtuelle Planungsanwendung
- Evaluierung und Benutzerstudie

Die Schwerpunkte bilden zusammen gesehen die Prozesskette von der Bildaufnahme bis hin zur Visualisierung und Interaktion mit dem Nutzer. Für die Aufnahmen der Bilddaten werden am Markt verfügbare Kameras eingesetzt. Überlappende Bild- und Geometriedaten werden mit Hilfe von Meta-Informationen registriert. Anschließend wird aus den Geometriedaten ein 3D-Drahtgittermodell aus Polygonen erzeugt, die nach der Datenpartitionierung mit neuen, in diesem Projekt zu entwickelnden Visualisierungstechniken dargestellt werden. Zusätzlich werden in diesem Arbeitspaket die Interaktionen zwischen Nutzer, bei nicht autonomer Steuerung, und Flugführung über eine visuelle Schnittstelle geschaffen.

## 4. SCHNITTSTELLEN



BILD 6. Schnittstellen zwischen den einzelnen Arbeitspaketen [12].

Zwischen den unterschiedlichen Arbeitspaketen bestehen zahlreiche Schnittstellen, die über den gesamten Projektverlauf mit Berücksichtigt werden müssen. Viele Schnittstellen bestehen allein zum ersten Arbeitspaket, Entwicklung der Flugplattform, durch die spätere Integration des Gesamtsystems auf die einzelnen Fluggeräte. Eine Übersicht über die Schnittstellen der einzelnen Arbeitspakete ist in BILD 6 gegeben.

Zwischen den Arbeitspaketen 1 und 2, Flugplattform, Teamstrategien und dynamische Netzplanung, gibt es einige Schnittstellen bezüglich der Flugführung und Missionssteuerung. Das in Arbeitspaket 1 ausgelegte Flugführungssystem muss die Steuereingaben aus den Teamstrategien und der visuelle Einsatzplanung umsetzen, aber auch fehlerhafte Kommandos kompensieren können.

Zwischen der Flugplattform und den Arbeitspaketen 3 und 4 besteht die größte Schnittstelle im Bereich Nutzlastintegration und Definition der geforderten Missionszeiten. Die Anbringung der Nutzlast mit ihren Anforderungen muss bei der Auslegung der Flugplattform und der Bestimmung des Schwerpunktes berücksichtigt werden. Des Weiteren fließen erforderliche Missionszeiten, Lage- und Positionsstabilitäten und Fluggeschwindigkeiten mit in die Auslegung der Flugplattform ein. Insgesamt ergibt sich im gesamten Projekt ein Austausch zwischen den einzelnen Systemen hinsichtlich Masse und Stromverbrauch.

Zwischen den Arbeitspaketen 2 und 3 bestehen die Schnittstellen hauptsächlich auf Kommunikationsebene. Die Ausfallsicherheit der Kommunikationskomponenten, sowohl der Fluggeräte untereinander als auch zur Bodenstation muss von der dynamischen Netzplanung berücksichtigt werden. Zwischen dem Arbeitspaket 2 und Arbeitspaket 4 bildet die Bodenstation die größte Schnittstelle. Die grafische Steuerungsschnittstelle wird von Arbeitspaket 4 realisiert, die globale Missionsplanung und Ansteuerung des Flugführungssystems erfolgt allerdings über Arbeitspaket 2.

Absprache zwischen Arbeitspaket 3 und Arbeitspaket 4 besteht hauptsächlich bezüglich der geforderten Datenraten, der Verzögerung und Fehlerrate sowie der Steuerung und Ausfallsicherheit des LTE-Links.

## 5. FLUGPLATTFORM

Im Folgenden wird auf die speziellen Anforderungen und Überlegungen zur Auslegung der Flugplattform eingegangen. Die avionische Service Plattform besteht aus einem sich selbst organisierendem Schwarm autonomer Fluggeräte. Globale Missionsziele, wie in Abschnitt 2 beschrieben, werden durch eine überwachende Missionskontrolle am Boden über einen Datenlink zu den einzelnen Fluggeräten übertragen. Für die Koordination der Schwarminteraktionen wird ein WiFi-Netz verwendet, über das Informationen bezüglich der einzelnen Positionen, Lagen, Flugbahnen und kürzlich erkannte Hindernisse gesendet werden. Diese Informationen werden mit den globalen Missionszielen von einer lokalen Missionssteuerung auf jedem Fluggerät verarbeitet um lokale Ziele und Flugbahnen zu definieren.

Das Fliegen im Schwarm sowie die unterschiedlichen Missionsziele, z.B. Fliegen in geringer Höhe innerhalb von dicht bebautem Gebiet, setzen eine genaue Manövriertfähigkeit voraus. Das Fluggerät muss in der Lage sein sich in jede Richtung mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, vom Schweben bis hin zu schnellem Vorwärtsflug, bewegen zu können und sollte außerdem noch in der Lage sein, senkrecht starten und landen zu können. Die dynamische Reaktion auf Steuereingaben oder auf Umwelteinflüsse muss schnell aber ruhig sein. Daher muss das implementierte Flugführungssystem einen guten Kompromiss zwischen Agilität und Dämpfung bieten. Dies

kann zum Beispiel durch adaptive Parameter geschehen. Neben den dynamischen Aspekten sollten die Fluggeräte kompakte Abmaße und ein geringes Gesamtgewicht bei hoher Nutzlastkapazität aufweisen. Unterschiedliche missionsabhängige Nutzlasttypen müssen einfach in das Fluggerät zu integrieren sein und schnell austauschbar sein. Zusätzlich soll ein effizientes Antriebssystem eine große Reichweite und Flugdauer ermöglichen. Aufgrund von Zulassungsanforderungen benötigt das Fluggerät außerdem ein oder mehrere Notverfahren um Gefahren bei Systemausfällen zu vermeiden.

Zur Erfüllung dieser unterschiedlichen Anforderungen wird ein neues, multifunktionales Fluggerät entwickelt, da keine der konventionellen Auslegungen die Anforderungen ausreichend erfüllt. Ein Evaluierungsprozess, der von Ostermann [13] im Detail beschrieben ist, führte zu einem hybriden Konzept, welches die Vorteile einer Starrflügler-Konfiguration mit denen einer Hubschrauber-Konfiguration verbindet. Obwohl Starrflügler durch die Verwendung von aerodynamischen Komponenten eine gute Leistung und einen geringen Energieverbrauch im Vorwärtsflug aufweisen, benötigen sie immer eine Geschwindigkeit um Auftrieb zu produzieren, was Schweben unmöglich macht. Drehflügler haben gute Senkrecht-Start- und Landeeigenschaften und Schwebeflugfähigkeiten, allerdings besitzen sie nur mäßige Eigenschaften im Vorwärtsflug, da der benötigte Auftrieb ausschließlich über den Rotor generiert wird. Zusätzlich stellen die offen rotierenden Rotorblätter im Fall von Systemausfällen ein hohes Risiko für die Umgebung dar.

Eine hybride Lösung mit ummantelten Propellern ist in der Lage flexibel und energieeffizient in unterschiedlichen Flugzuständen zu operieren und bietet darüber hinaus eine gute Manövriertfähigkeit. Der gesamte Rumpf und weitere Teile der Struktur werden aus Materialien mit geringer Dichte und hoher Festigkeit und Steifigkeit, z.B. CFK, hergestellt um Gewicht zu sparen. Die Fluggeräte werden durch elektrische Motoren angetrieben, obwohl konventionelle Antriebe, wie Verbrennungsmotoren, eine höhere Leistungsdichte haben. Allerdings bieten elektrische Motoren einige Vorteile im Bereich des Teillastverhaltens, der Lärmentwicklung, der Zuverlässigkeit und der Vibrationen, die durch Interferenzen die Sensorik beeinflussen können. Die Energieversorgung für den Antrieb und die anderen elektrischen Komponenten an Bord wird durch angepasste hochleistungsfähige Lithium-Polymer-Akkus bereitgestellt.

Für eine autonome Missionsdurchführung wird ein Flugführungssystem in Kaskadenstruktur verwendet. Es verarbeitet die Eingangsdaten von der eigenen Missionssteuerung unter Berücksichtigung der Positions- und Lagedaten sowie der Daten eines Hindernissensors, die über einen zentralen Bus bereitgestellt werden. Um Missionen innerhalb von engen Korridoren zuzulassen werden die Fluggeräte mit einer 3D-ToF Kamera ausgestattet, die innerhalb des AVIGLE Projektes entwickelt wird. Mit Hilfe von Laufzeitmessungen eines Laserstrahles und einem vom Fraunhofer IMS entwickelten CMOS Sensor können Distanzen und Tiefeninformationen von Hindernissen in Echtzeit bestimmt werden. Die von jedem einzelnen Fluggerät gesammelten Informationen werden allen Schwarmteilnehmern zur sicheren Navigation und Anpassung der geplanten Flugrouten zur Verfügung gestellt. Der Austausch der Daten im Schwarm geschieht über ein WiFi-Netz während die Kommunikation der einzelnen Fluggerä-

te zum Boden über einen LTE-Link und einen separaten Steuerlink erfolgt. BILD 7 zeigt einen generellen Aufbau des Gesamtsystems und der integrierten Systeme auf dem Fluggerät.

Auf Grund der geplanten unterschiedlichen Missionen soll eine einfache Austauschbarkeit der Nutzlasten vorgesehen werden. Daher muss die Schnittstelle zur Nutzlast genau definiert sein und spezifizierte Größen und Anschlüsse besitzen. Außerdem wird ein Dateninterface implementiert werden um Nutzlastdaten via LTE zur Bodenstation schicken zu können.

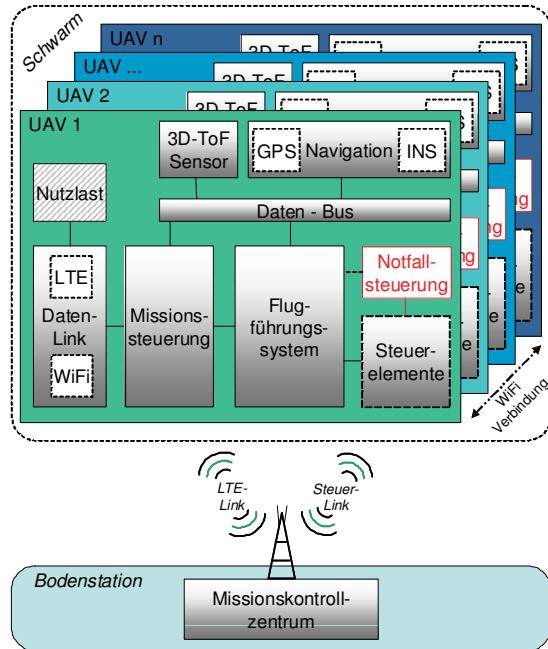


BILD 7. Systemarchitektur mit dem Schwerpunkt auf der Flugplattform.

## 6. AUSBLICK

Zurzeit befindet sich das Projekt im Abschluss der Anforderungsanalyse und zu Beginn der Spezifikationsphase. Die Spezifikationsphase wird Ende August abgeschlossen werden und wird dann von der Implementierung und Integration abgelöst, deren zentrales Ziel der Early-Demonstrator Mitte 2011 ist. Während der Spezifikationsphase werden die Dimensionen und Funktionen aller Komponenten definiert. Es wird außerdem definiert welche Komponenten und Systeme schon auf dem Early-Demonstrator voll funktionsfähig sein sollen. Für das Fluggerät bedeutet dies während der Spezifikation eine komplette Auslegung des Tragflügels, des Rumpfes und des Antriebsstranges, sowie eine erste Auseinandersetzung mit dem Flugführungssystem und Flugregelungsalgorithmen. Da von den anderen Projektpartnern einzelne Systeme in die Flugplattform integriert werden müssen, ist eine beständige Kommunikation mit den anderen Projektpartnern unerlässlich. Neben der tatsächlichen Auslegung wird auch die Simulation ein wichtiger Bestandteil bis zum Early-Demonstrator sein.

## 7. DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde innerhalb des AVIGLE Projektes durchgeführt, welches vom Ministerium für Innovation,

Wissenschaft, Forschung und Technologie des Landes Nordrhein-Westfalen und der EU gefördert ist. Wir danken allen Projektpartnern für ihre Arbeiten und Beiträge innerhalb von AVIGLE.

## 8. BEZEICHNUNGEN

|      |   |
|------|---|
| LTE  | Long Term Evolution, Mobilfunkstandard                            |
| 3GPP | 3rd Generation Partnership Project, Standardisierung im Mobilfunk |
| ToF  | Time of Flight, Laufzeitmessungen                                 |
| UAV  | Unmanned Aerial Vehicle   |

## 9. LITERATUR

- [1] Y. M. Chen, S. H. Chang, „An Agent-Based Simulation for Multi-UAVs Coordinative Sensing“, International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, vol. 1, pp. 269-284, 2008
- [2] M. Lindhe, K. Johansson, “Using Robot Mobility to Exploit Multipath Fading,” IEEE Wireless Communications, vol. 16, no. 1, pp. 30-37, February 2009.
- [3] Y. Mosto ,”Communication-Aware Motion Planning in Fading Environments,” in Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Pasadena, USA, May 2008 pp. 3169-3174.
- [4] J. Esposito, T. Dunbar, “Maintaining Wireless Connectivity Constraints for Swarms in the Presence of Obstacles,” in Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation(ICRA), Orlando, USA, May 2006, pp. 946-951.
- [5] S. Poduri, G. Sukhatme, “Constrained Coverage for Mobile Sensor Networks,” in Proc. of IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), vol. 1, New Orleans, USA, April-May 2004, pp. 165-171 Vol.1.
- [6] J. Baoxuan, B. Fuling, Z. Xiaoqing, W. Fangxiong, “Study on Visualization of Virtual City Model Based on Internet ,”Geo-Spatial Information Science, vol. 8(2), pp. 115-121, 2005.
- [7] J. Roßmann, M. Rast, “High-Detail Local Aerial Imaging Using Autonomous Drones,” in Proc. of 12th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Hannover, Germany, June 2009.
- [8] J. Royan, P. Gioia, R. Cavagna, C. Bouville, “Peer-to-Peer Visualization of Very Large 3D Landscape and City Models Using MPEG-4,” in 3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video, Istanbul, Turkey, May 2008, pp. 93-96.
- [9] Bewerbungsantrag AVIGLE für den 2. Wettbewerbsaufruf des Förderwettbewerbs Hightech.NRW, 2009
- [10] S. Rohde, F. Steinicke, T. Ostermann et al., „AVIGLE: A System of Systems Concept for an Avionic Digital Service Platform Based on Micro Unmanned Aerial Vehicles“, 2010 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 2010
- [11] K. Daniel, S. Rohde, N. Goddemeier, C. Wietfeld, “A Communication Aware Steering Strategy Avoiding Self-Separation of Flying Robot Swarms”, 5th IEEE International Conference on Intelligent Systems (IS 2010), London, UK, July 2010.
- [12] Anforderungsanalyse AVIGLE, 2010
- [13] Ostermann, „Entwicklung eines autonom operierenden Tiltwing-UAV für den Einsatz in selbstorganisierenden Drohnenschwämmen“, DLRK Kongress 2010 Hamburg, 31.08-2.9.2010