

Aachen, 05.04.2013

## **Einsatz von Unbemannten Flugsystemen in der Landwirtschaft**

*Peter Loef (EurA Consult AG)*

*Lars Kuhnert, Klaus Müller, Prof. Dr.-Ing. Klaus-Dieter Kuhnert (Universität Siegen)*

*Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer (Universität Rostock),*

### **Einführung**

Unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS – Unmanned Aircraft Systems) werden zunehmend für zivile Anwendungen eingesetzt und deren Bedeutung nimmt immer mehr zu. Durch die 14. Änderung des LuftVG von 08.05.2012 sind unbemannte Luftfahrtsysteme (UAS) mit ihrer Kontrollstation in Deutschland als Luftfahrzeuge definiert. Ein weiterer Schritt, die zivile Nutzung von unbemanntem Fluggerät (LuftVO) zu forcieren.

Die Einsatzbereiche für unbemannte Fluggeräte werden heute nahezu als grenzenlos genannt. Im Sicherheitsbereich bei Polizei, Feuerwehr und THW, in der Landwirtschaft, bei Energieversorgen in Prozessen der Instandhaltung zur Befliegung von Energietrassen wie zur Erstellung von Luftbildern und Luftbildvideos, aber auch immer mehr zur Erfassung von hochpräzisen Rauminformationen (Geoinformationen). Der Flugeinsatz mit innovativen neuartigen Sensoren wie Thermografie, Laserscannern, Infrarotkameras oder Umweltsensoren, um nur ein paar exemplarische Anwendungen zu nennen, können in Zukunft die Einsatzbereiche von unbemannten Flugsystemen stetig erweitern.

Die Einsatzbereiche im „Precision Farming“ stehen erst am Anfang. An Hand von zwei Forschungsprojekten sollen die Möglichkeiten aufgezeigt werden, die neuartige Technologie effizient einzusetzen. Im dritten Abschnitt wird das Innovationsnetzwerk „UAS-INSY – Innovationsnetzwerk Systemtechnologien für zivile unbemannte Luftfahrtsystemen und Anwendungen“ vorgestellt. Das Netzwerk UAS-INSYS verfolgt technologische wie wirtschaftliche Ziele gleichermaßen. Hierbei initiiert und managt das Netzwerk innovative Entwicklungen und der damit verbundenen Markteinführung neuer integrierter und intelligenter Anwendungen und Services.

### **Projekt 1**

#### **Lokalisierung von Objekten auf landwirtschaftlichen Flächen durch unbemannte Flugsysteme in Kooperation mit landwirtschaftlichen Bodenfahrzeugen**

##### **Abstrakt**

In dem Forschungsprojekt wird ein neuartiger Ansatz zur Objektlokalisierung auf landwirtschaftlichen Flächen in einem autonomen „Team“ von kooperierenden Luft-Bodenrobotern verfolgt, im Gegensatz zu anderen Projekten, die sich auf einzelne Unbemannte Luftfahrtsysteme oder Landfahrzeuge beziehen. Ein UAS ausgestattet mit einer hochauflösenden Kamera und einem einfachen GPS-Empfänger erzeugt Luftaufnahmen der landwirtschaftlichen Nutzfläche. Die georeferenzierten Luftbilder werden dem Bodenroboter übermittelt, der die Luftaufnahmen hinsichtlich der als besonders gekennzeichneten Objekte auswertet. Dies können Schadflächen sein oder auch Hindernisse wie z.B. Rehkitze, die aus der Vogelperspektive besonders gut zu erkennen

sind. Der Bodenroboter kann dann entsprechende Aktionen durchführen. In dem Bericht werden die Ergebnisse des Feldtests, die Effizienz und die Genauigkeit der Methode vorgestellt.

## Einleitung

In der modernen Landwirtschaft werden heute viele landwirtschaftliche Nutzfahrzeuge eingesetzt, die mittels (D)GNSS Positionierung, unterstützt durch weitere Navigationssensoren und durch teilautonome Fahrerassistenzsysteme präzise gesteuert werden können. Der Grad der Automatisierung hat in der jüngsten Vergangenheit stark zugenommen. Weiterhin erfolgt oft ein ineffizienter Einsatz von Chemikalien und die Verdichtung der Böden.

Die begrenzte „Sicht“ von Messsensoren auf den Landfahrzeugen, die zur Ermittlung der Beschaffenheit der Vegetation wie der Bodeneigenschaften und der Erkennung von Hindernissen eingesetzt werden, ermöglichen allerdings keine ausreichende Analyse. In dem Forschungsprojekt wird die Kombination von unbemannten Luftfahrtsystemen (UAS) und landwirtschaftlichen Fahrzeugen verfolgt, damit das Nutzfahrzeug präziser und zielgerichteter eingesetzt werden kann. Das UAS wird als externe Sensorplattform eingesetzt, gewissermaßen als „Antenne“ des Nutzfahrzeugs, um diese mit Hilfe der gewonnenen Informationen aus der Vogelperspektive präzise und effizient zu führen.

## Kooperationskonzept der Robotikplattformen

In allen Feldversuchen wurden die Roboterplattformen „AMOR“ und „PSYCHE“ eingesetzt (siehe Abbildung 1). Der Bodenroboter AMOR ist mit mehreren Positionierungs- und Navigationssensoren ausgerüstet, (Tachometer, Kompass, Inertialmesseinheit, GPS) und weiteren Sensoren zur Messung der lokalen Umgebung (Ultraschall-Sensoren, Laser-Scanner, Kameras). AMOR ist in der Lage autonome Aufgaben durchzuführen, wie Wegpunkt-Navigation, kinematisch mögliche Wegplanung und reaktive Hindernisvermeidung, um nur einige seiner Fähigkeiten zu nennen. Der Flugroboter (UAS) PSYCHE basiert auf einem Quadrocopter vom Typ MD4-1000. Auf diese UAS-Plattform durch die Integration eines Embedded Computer Systems die autonomen Funktionen erweitert. Die modulare Sensorik kann an die Bedürfnisse von speziellen Anwendungen angepasst werden. Für diese Anwendung wurde der Flugroboter mit einer hochauflösenden digitalen Kamera ausgestattet, die in einer aktiv stabilisierten Aufhängung mit einem Schwerkraftvektor montiert war.

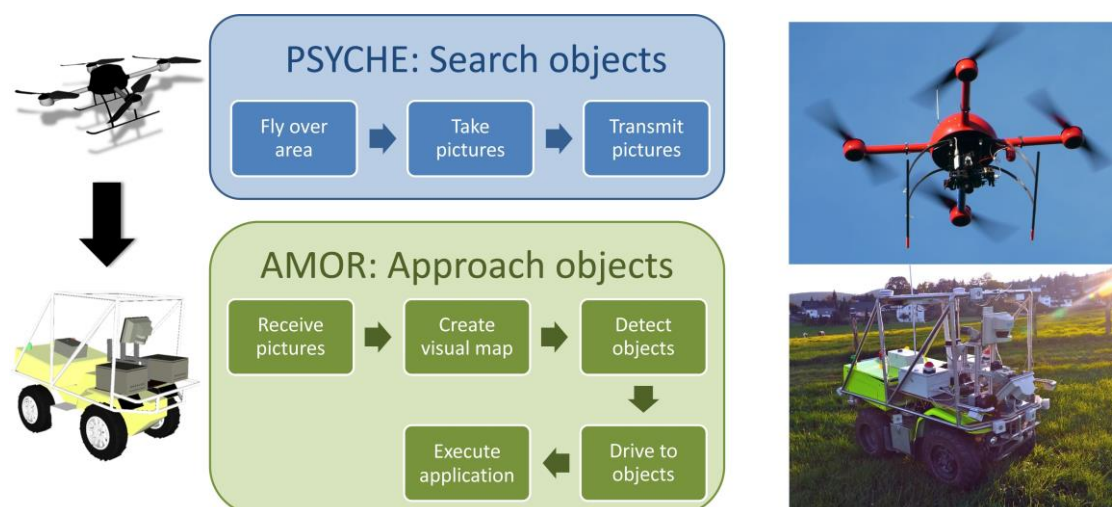


Abbildung 1: Einsatzszenario während der kooperativen Objektlokalisierung auf landwirtschaftlichen Flächen. Robotikplattformen im Feldversuch: AMOR (unten rechts) und Psyche (oben rechts).

Abbildung 1 zeigt die Operation während der kooperativen Objektlokalisierung. Zunächst wird eine Trajektorie für das UAS erzeugt und das UAS überfliegt die landwirtschaftliche Fläche auf der vorgeplanten Trajektorie und erzeugt flächendeckend Luftbilder. Sobald ein Luftbild aufgenommen ist und mit den synchronisierten Sensordaten (GPS, IMU) georeferenziert wurde, wird es auf den Bodenroboter AMOR übertragen. Dort werden alle Luftbilder verarbeitet, zu einem Luftbildmosaik zusammengefügt und analysiert. Dem Bodenroboter stehen nun alle Informationen für weitere Aktionen zur Verfügung.

## Luftbilderstellung und Objektlokalisierung

### Flugplanung

Die Flugplanung erfolgte anhand einer Kartengrundlage, auf der mit einem Polygon das zu überfliegende Gebiet gekennzeichnet wurde. Hierbei wurde die Bildabdeckung wie auch die Überlappung berücksichtigt. Das Ergebnis ist ein vollständiger Flugplan mit allen Bildpunkten.

### Stitching

Alle Luftbilder wurden auf Basis eines punktbasierten Image Stitching mit Randanpassung zu einem Luftbildmosaik zusammengeführt. Zur Optimierung der Laufzeit wurden die Bildkoordinaten (GPS) benutzt, um benachbarte Bilder miteinander zu vergleichen. Das Ergebnis ist ein homogenes, georeferenziertes Luftbildmosaik.

### Georeferenzierung

Zur Georeferenzierung von Luftbildmosaiken, die von einem UAS erstellt wurden, ist es in der Regel erforderlich, geografische Bezugs- oder Passpunkte zu verwenden. Auf Grund der Struktur der landwirtschaftlichen Flächen liegen solche Bezugspunkte nicht vor. Ebenso fehlen „markante“ Landschaftselemente. Aus dem Grund wurde eine eigene Georeferenzierungstechnologie angewendet, die mittels s.g. Transformationsmatrizen die Bildpixel auf die Kartenpixel transformiert.

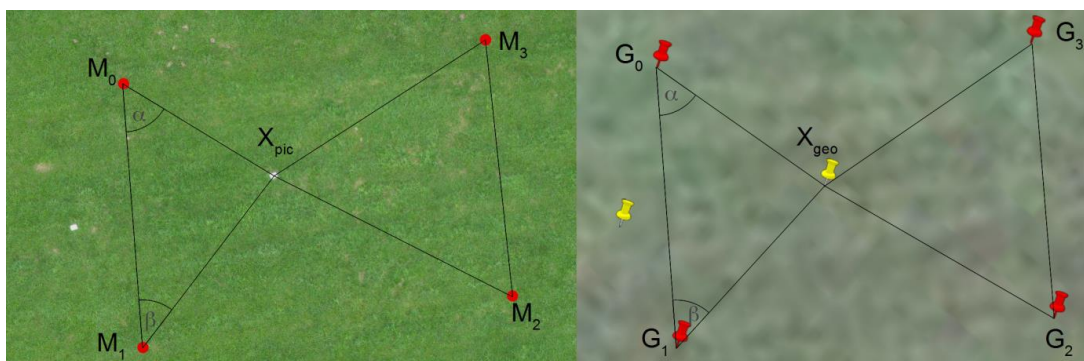


Abbildung 2: Das linke Bild zeigt eine „gestitchte“ Karte von vier Luftbildern. Die roten Punkte symbolisieren die Mitte jedes einzelnen Bildes und die weißen Punkte sind im Bild vorhandene markante Objekte. Das rechte Bild zeigt die geographischen Kamerapositionen (rot) während der Belichtung auf einer Google Earth-Karte.

### Objekterkennung und Analyse

Die Objekterkennung und Analyse war nicht Bestandteil dieser Forschungsarbeit. Es wurde lediglich ein einfacher Farberkennungsalgorithmus zu Testzwecken implementiert, um die Effizienz und den integrierten Lokalisierungsansatz zu evaluieren.

## Ergebnis

Der Bodenroboter AMOR erhält eine Liste von detektierten Objekten mit absolut referenzierten Koordinaten, die nun vom Roboter angefahren werden sollen. Zur lokalen Orientierung wird ein Laserscanner sowie 8 Ultraschallsensoren eingesetzt. Von der Umgebung des Roboters wird eine zweidimensionale Karte erstellt, in der alle Hindernisse, überfahrbar und nicht überfahrbar, dargestellt. Auf Basis aller verfügbaren Daten wird die Fahrroute mit allen Aufträgen ermittelt und dynamisch angepasst.

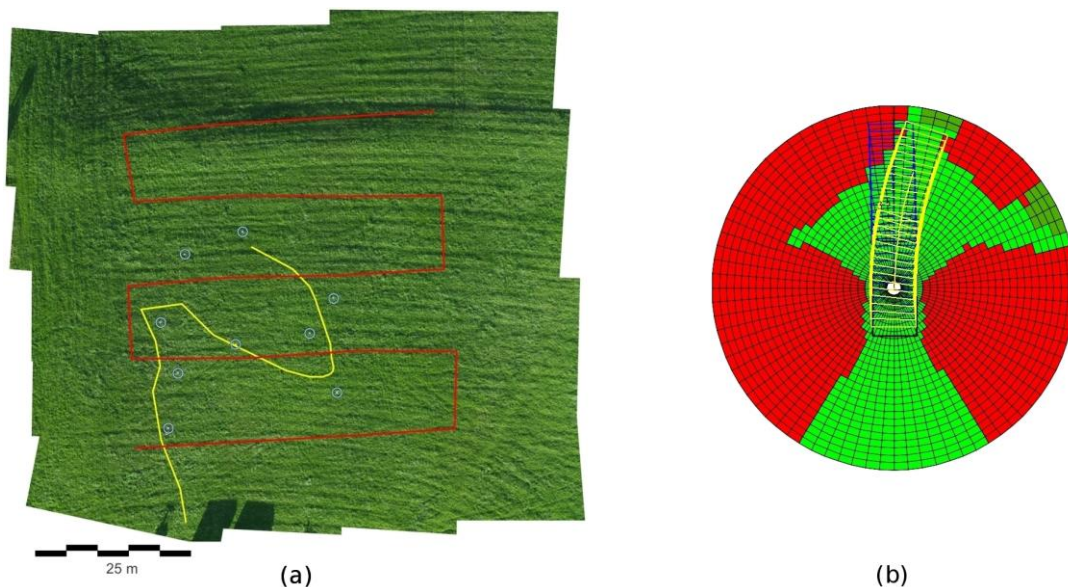


Abbildung 3: (a) Luftbildkarte aus Feldtest Experiment. UAS (rot) und UGV (gelb) Wegen. Lokalisierte Objekte (blaue Kreise). (b) Seclet Karte beschreibt lokale Umfeld. Das UVG befindet in der Mitte der Karte. Überfahrbar (grün) und nicht überfahrbar (rot) Bereiche. GPS Referenzen (blau) und eine bereinigte, Kollisionsvermeidung-Trajektorie (gelb).

## Abschluss

Es wurde ein Verfahren zur Objektlokalisierung unter Einsatz eines kooperierenden Roboterteams vorgestellt, das aus einem Bodenroboter und einem UAS besteht. Das neuartige kooperative Konzept beinhaltet die Luftbilderfassung und die Verarbeitung der Daten in Echtzeit, die vom Bodenroboter zusätzlich detektiert und verifiziert werden können um die Aktionen unmittelbar auszuführen. Die Möglichkeiten der Aktionen ist nicht beschränkt und kann auf Grund des modularen Sensorkonzeptes und der hohen Nutzlast an die jeweiligen Aufgaben angepasst werden. Aufgrund der neuartigen Georeferenzierung der georteten Objekte erfolgt die Lokalisierung mit einer hohen Genauigkeit.

Quelle: Object localization on agricultural areas using an autonomous team of cooperating ground and air robots

## Projekt 2

### UAS-Fernerkundung für die Landwirtschaft

Dr.-Ing. Görres Grenzdörffer

Die Nutzung fernerkundlicher Daten in der Landwirtschaft hat lange Tradition. Während sich die Satellitenfernerkundung vor allem im nationalen und internationalen Maßstab, z.B. zur Vorhersagen von Dürren ein bewährtes Mittel ist, fußt die Umsetzung fernerkundlicher Daten auf der betrieblichen Ebene, auf die Ermittlung von Flächengrößen im EU-Beihilfeverfahren und das Precision Farming. Dabei ist das Potential fernerkundlicher Informationen für die betriebliche Pflanzenproduktion sehr groß, wie Abbildung 1 zeigt.

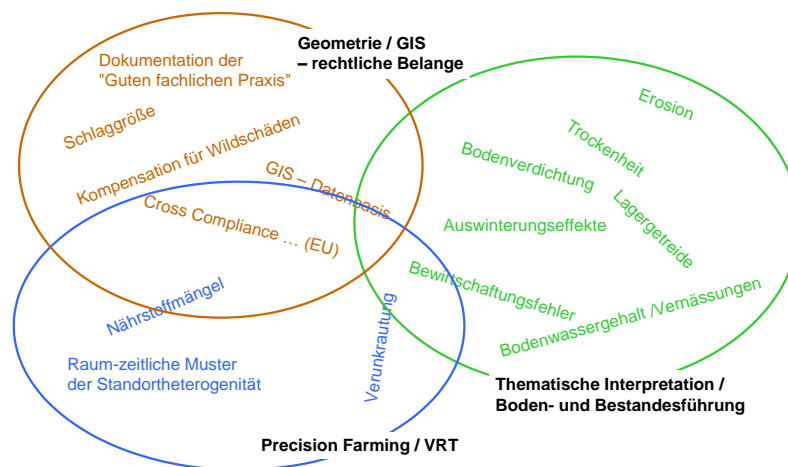


Abbildung 1: Anwendungsmöglichkeiten der Fernerkundung in der Pflanzenproduktion

Wie aus der Graphik deutlich wird, können fernerkundliche Informationen nicht nur für Precision Farming im engeren Sinne genutzt werden, sondern als Interpretationsgrundlage auch in Zusammenarbeit mit Dienstleistern und Experten viele Fragen zur Boden- und Bestandesführung klären helfen.

Eine Grundvoraussetzung für den Erfolg des Precision Farming ist es die Heterogenität des Bodens und des Pflanzenbestandes zeitnah und aktuell zu erfassen, um sie im Entscheidungsprozess zu berücksichtigen. Genau hier setzt die Fernerkundung an, denn durch den Blick aus der Vogelperspektive bekommt der Landwirt detaillierte flächendeckende Informationen über seine Schläge und ist in der Lage mit seinem Wissen entsprechend darauf zu reagieren. Die Fernerkundung ist ein indirektes Verfahren, welches je nach Aufnahmezeitpunkt Unterschiede innerhalb eines Schlages dokumentiert. Diese Unterschiede sind auf viele Ursachen zurückzuführen: z.B. auf die Heterogenität des Bodens, des Bestandes, der Nährstoffversorgung, der Exposition, der Bewirtschaftung u.v.m. Die Vielfalt möglicher Ursachen spektraler Unterschiede erschwert den Einsatz der Fernerkundung ungemein, da die Pflanzen auf Stress (z.B. Nährstoffmangel, Wasserstress, Pflanzenkrankheiten) unterschiedlicher Herkunft – spektral gesehen – oft recht ähnlich reagieren.

Unabhängig davon ist es für landwirtschaftliche Anwendungen reizvoll nicht nur Informationen aus dem sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums zu nutzen, sondern auch Informationen

aus dem Nahinfrarot, dem thermalen Infrarot oder gar multi- bzw. hyperspektrale Daten. Diese Informationen werden in Nah-Echtzeit und möglichst unter jeder Witterung benötigt. Deshalb sind entweder speziell angepasste Luftbildbefliegungen oder der Einsatz von Flugrobotern (engl. Unmanned airborne systems UAS) notwendig.

Aufgrund der gesetzlichen Rahmenbedingungen in der Bundesrepublik, die eine UAS-Befliegung nur in Sichtweite und mit Fluggeräten unter 5 kg ohne größere Einschränkung ermöglichen, konzentriert sich der Einsatz von landwirtschaftliche Einsatz von UAS in Deutschland auf die (multispektrale) Datenerfassung.

Die vielen Anwendungsmöglichkeiten und die vielfältigen multispektralen Kamerasysteme haben in den letzten Jahren zu einer Fülle von innovativen technischen Entwicklungen und Lösungen geführt.

Als Trägerplattform haben sich entweder Multirotorsysteme (Quattro-, Hexa- oder Octocopter) oder Flächenflügler (Modellflugzeuge) bewährt. Die Vorteile der Flächenflügler liegen eindeutig in der größeren Reichweite und der längeren Flugzeit, die somit eine größere Flächenleistung ermöglicht. Diese ist insbesondere zur Erfassung größerer landwirtschaftlicher Schläge notwendig, die in Ostdeutschland gerne mal 100 ha oder größer sein können. Aus diesem Grund setzen kommerzielle Lösungen, wie z.B. das Doppelkamarasystem (Farb- + NIR-Kamera) der Firma CIS GmbH<sup>1</sup> das auch von Landwirten selber eingesetzt werden kann, auf Flächenflügler.

Multirotorsysteme haben ihre Stärken als Lastenträger schwererer multispektraler Kamerasysteme und der gezielten Aufnahme von Objekten und Flächen aus beliebigen Richtungen. Sie werden deshalb an den Universitäten und Forschungseinrichtungen gerne als Experimentalplattformen genutzt. Neben Kameraeigenentwicklungen sind miniaturisierte Multispektralkamerasysteme, wie die der Firma Tetracam<sup>2</sup> oder die hyperspektrale Kamera der finnischen Firma Rikola<sup>3</sup> am Markt verfügbar.

Im Vergleich mit einem flugzeuggetragenen System dürfen UAS nur in einer geringen Flughöhe von 100 - 300 m operieren. Das führt bei "normalen" senkrecht blickenden Kameras zu kleinen Flächenabdeckungen pro Bild. An der Universität Rostock ist deshalb ein schrägblickendes Mehrkamarasystem "Four Vision" entwickelt worden, das gleichzeitig die Felder aus verschiedenen Perspektiven aufnehmen kann, vgl. Abb. 2.

---

<sup>1</sup> [http://cis-rostock.net/cis/0\\_index/?q=content/drohnsysteme](http://cis-rostock.net/cis/0_index/?q=content/drohnsysteme)

<sup>2</sup> <http://www.tetracam.com/index.html>

<sup>3</sup> [http://www.rikola.fi/site/?page\\_id=55](http://www.rikola.fi/site/?page_id=55)





Abbildung 2: "Four Vision" Kamerasystem

Das nur ca. 1.2 kg schwere „Four-Vision“-Kamerasystem verspricht nicht nur eine Erhöhung der Flächenleistung und somit Einsparung von Flugzeit, sondern auch die Bestimmung von wichtigen Parametern für die Bidirektionale Reflektanzfunktion (BRDF), mit deren Hilfe Helligkeits- und Kontrastunterschiede, die durch Sonneneinstrahlung entstehen, in den einzelnen Bildern ausgeglichen werden können.

Eine andere interessante Anwendung von UAS ist es, diese für die präzise, leise und kostengünstige Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln (PSM) einzusetzen. In der Bundesrepublik ist erst ein Projekt in dieser Richtung gestartet, und zwar die so genannte "Weinbergdrohne" mit einer Abflugmasse von 65 kg (inkl. 35 kg Payload), die in den schwer zugänglichen Steillagen der Mosel den bisherigen Einsatz von Hubschraubern ersetzen soll. Das UAS-Trägerplattformen zur Ausbringung von PSM Zukunft haben, zeigt Japan. Dort werden über 2.500 größere UAS zum (Stand 2011) zur genauen Ausbringung von PSM eingesetzt.

## **Netzwerk UAS-INSYS**

Die vorgenannten Beispiele zeigen das enorme Potenzial der eingesetzten Technologien und Robotersysteme. Gleichmaßen wird aber auch deutlich, welche Innovationen und Entwicklungen noch für die Integration in die jeweiligen Technologieketten, Geschäftsprozesse und Work Flow's (Precision Farming) notwendig sind.

Hier setzt unter anderem das Innovationsnetzwerk „UAS-INSYS“ an. Zielsetzung des Netzwerkes ist die Initiierung und das Management von innovativen Entwicklungen und der damit verbundenen Markteinführung neuer integrierter und intelligenter Anwendungen und Services mit unbemannten Luftfahrt Systemen für zivile Anwendungen. In dem Netzwerk UAS-INSYS lässt sich mit den breiten Kompetenzen und branchenübergreifenden Aktivitäten der beteiligten 7 Unternehmen und 6 F&E Einrichtungen die Zielsetzung optimal realisieren. Bei den möglichen breiten Einsatzfeldern der UAS-Technologie handelt es sich typischerweise um eine neuartige, erklärungsbedürftige Technologie, wo gezielte Marketingmaßnahmen und Markteintrittsstrategien entwickelt werden müssen. Ein Schwerpunkt der Technologieentwicklungen wird auf Multisensorsysteme und Missionsmanagement Systemen gelegt werden.

## **Das Netzwerkkonzept**

UAS-INSYS Netzwerkpartner profitieren vom Austausch untereinander. Das Netzwerk führt die Experten entlang der gesamten Wertschöpfungskette zusammen, um Systementwicklungen mit den Partnern umzusetzen. Die Netzwerkpartner bündeln ihre technologischen Potenziale sowie Markt- und Branchenkenntnisse, um gemeinschaftlich innovative Ideen zu verwirklichen.

Dabei werden auch die Querschnittstechnologien der Geoinformation, Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) sowie der Sensortechnologien einbezogen, um gemeinsam mit innovativen Produkten, Systemlösungen und Mehrwertdiensten neue Geschäftsfelder und Absatzmärkte zu erschließen.

### **Die Netzwerkpartner**

Das Netzwerk besteht aus meist mittelständischen Unternehmen und Forschungseinrichtungen aus dem breiten Umfeld der UAS-Anwendungen, die die gesamte Wertschöpfungskette abdecken. Die Akteure verfügen Erfahrungen im Bereich der Datenverarbeitung der gewonnenen Daten, der Entwicklung und Systemintegration von UAS-Technologien und Systemkomponenten, der Sensortechnologien sowie der Herstellung von unbemannten Flugsystemen.

Das Netzwerk wird in der Startphase von folgenden Unternehmen gebildet:

- BLOM Deutschland GmbH, Schorndorf
- Height-Tech GmbH, Bielefeld
- PMM – Services GmbH & Co.KG, Krefeld
- Allsat GmbH, Hannover
- Volz Servos GmbH & Co. KG, Offenbach
- EFTAS Fernerkundung Technologietransfer GmbH, Münster
- LOGIBALL GmbH, Herne
- 

Zur Gewährleistung des hohen technologischen und innovativen Anspruchs des Netzwerkes konnten folgende Hochschulen und Forschungseinrichtungen gewonnen werden. Diese sind:

- Universität Rostock
- Hochschule Bochum
- Universität Siegen
- Fraunhofer Institut, FKIE, Wachtberg
- Technische Universität München

und der Dachverband UAV-DACH.

### **Die Technologie**

Zukünftig sollen vielfältige Messsensoren eingesetzt werden, so z. B. für die Erfassung von Umweltdaten, hochpräzise Messungen mit Laserscannern bei der Stromtrassenüberprüfung, Thermografiesensoren für den Einsatz bei Energieeffizienzanalysen oder bei der Überprüfung von Photovoltaik Anlagen und Solarparks. Darüber hinaus sollen UAS gleichzeitig mit mehreren Messsensoren ausgestattet werden, s.g. Multisensorsystemen, die zeitgleich Mehrfachmessungen ermöglichen.

### **Das Netzwerkmanagement**



Das Netzwerk „UAS-INSYS – Innovationsnetzwerk Systemtechnologien für zivile unbemannte Luftfahrtsysteme“ - wurde auf Initiative der EurA Consult AG neu gegründet und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.

Durch Vernetzung und Einbeziehung von weiteren Akteuren wird das Netzwerk in der Zukunft auf- und ausgebaut und steht für neue Partner jederzeit offen.

Das Netzwerkmanagement steht Ihnen bei Fragen zur Partizipation am Netzwerk zur Verfügung.

**Für weitere Informationen stehen zur Verfügung:**

**Peter Loef**  
*Netzwerkmanager „UAS-INSYS“  
& Innovationsberatung*



EurA Consult AG, Dennewartstraße 25-27, 52068 Aachen  
Telefon: +49 (0)241 96312-13 • Telefax: +49 (0)241 96312-14  
Mobil: +49 (0)173 5666 496 • Email: [peter.loef@euracconsult.de](mailto:peter.loef@euracconsult.de)