Standpunkt zivile Sicherheit

Die Nutzung von UAS für zivile Aufgaben

Therese Skrzypietz · Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH

BIGS
BRANDENBURGISCHES INSTITUT für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT

Md4-1000 / Bild: © microdrones GmbH

Nummer 2 · August 2011

IMPRESSUM

Das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit (BIGS) gGmbH ist ein unabhängiges, überparteiliches und nicht-gewinnorientiertes wissenschaftliches Institut, das zu gesellschaftswissenschaftlichen Fragen ziviler Sicherheit forscht. Das BIGS publiziert seine Forschungsergebnisse und vermittelt diese in Veranstaltungen an eine interessierte Öffentlichkeit. Das BIGS entstand im Frühjahr 2010 in Potsdam unter der Beteiligung der Universität Potsdam und ihrer UP Transfer GmbH sowie der Unternehmen EADS, IABG und Rolls-Royce. Es wird vom Land Brandenburg gefördert.

Alle Aussagen und Meinungsäußerungen in diesem Papier liegen in der alleinigen Verantwortung des Autors bzw. der Autoren.

Verfasserin der Studie:
Therese Skrzypietz

Titel der Studie:
Die Nutzung von UAS für zivile Aufgaben

Herausgeber:
Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH
Dr. Tim H. Stuchtey (V.i.S.d.P.)

ISSN: 2191-6748

BIGS Standpunkt Nr. 2, August 2011

Weitere Informationen über die Veröffentlichungen des BIGS befinden sich auf der Webseite des Instituts: www.bigs-potsdam.org.

Copyright 2011 © Brandenburgisches Institut für Gesellschaft und Sicherheit gGmbH. Alle Rechte vorbehalten. Die Reproduktion, Speicherung oder Übertragung (online oder offline) des Inhalts der vorliegenden Publikation ist nur im Rahmen des privaten Gebrauchs gestattet. Kontaktieren Sie uns bitte, bevor Sie die Inhalte darüber hinaus verwenden.

BIGS
BRANDENBURGISCHES INSTITUT für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT

Brandenburgisches Institut für
Gesellschaft und Sicherheit gGmbH

Geschäftsführender Direktor:
Dr. Tim H. Stuchtey

Rudolf-Breitscheid-Str. 178
14482 Potsdam

Telefon: +49-331-704406-0
Telefax: +49-331-704406-19

E-Mail: info@bigs-potsdam.org
www.bigs-potsdam.org

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung **4**

2 Eigenschaften und Funktionen von UAS **5**

3 Abgrenzung von UAS gegenüber Alternativen **7**

3.1 Nachteile von UAS 7

3.2 Vorteile von UAS 9

4 Einsatzmöglichkeiten im zivilen Bereich **11**

4.1 Verwendung in der Forschung 12

4.2. Katastrophenschutz und -management 14

4.3 Schutz kritischer Infrastrukturen 16

4.4 Einsatz im Heimatschutz 19

5 Marktpotenziale im zivilen Bereich **20**

6 Weiterer Forschungsbedarf **21**

7 Quellen und Referenzen **23**

7.1 Durchgeführte Gespräche 23

7.2 Abkürzungsverzeichnis 23

7.3 Literaturverzeichnis 24

7.4 Glossar der Fußnoten 27

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung von UAS 2005–2010 4

Abbildung 2: Unterteilung von UAS 6

Abbildung 3: Zivile Einsatzbereiche von UAS 12

Abbildung 4: Marktaufteilung der zivilen UAS-Kategorien in Europa von 2008-2017 21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Potenzielle Klassifizierung von UAS 5

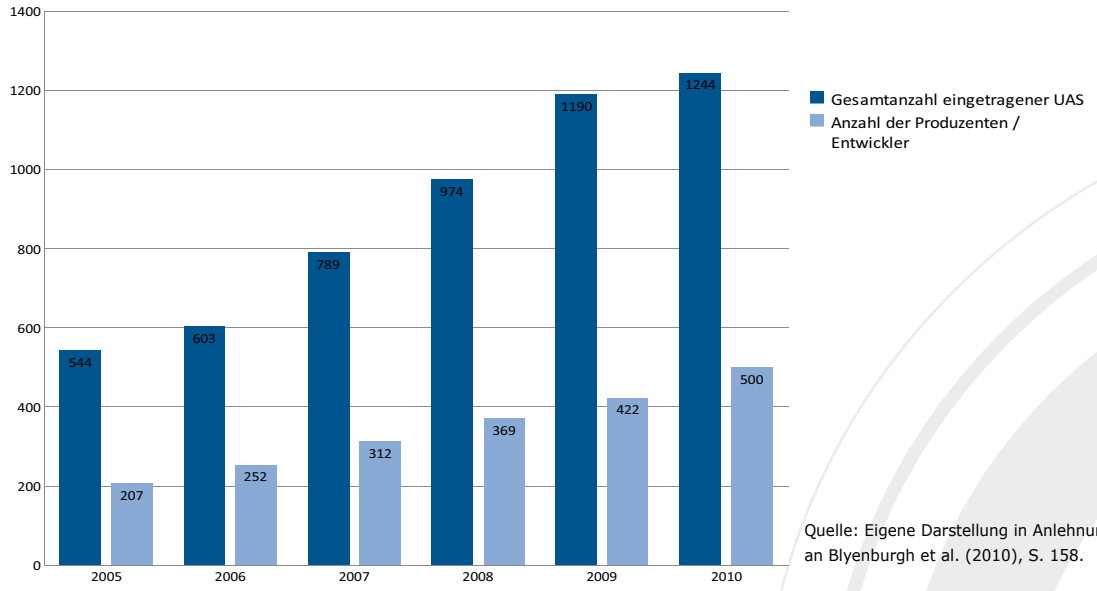
1. Einleitung

Unmanned Aircraft Systems (UAS) gewinnen in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Die Anzahl der verschiedenen eingetragenen unbemannten Luftfahrzeuge bei *UVS International,* einer gemeinnützigen Gesellschaft zur Förderung von unbemannten Systemen, hat sich im Zeitraum von 2005 bis 2010 mehr als verdoppelt. Auch die Anzahl der Produzenten und Entwickler ist um mehr als das Doppelte gestiegen. Ebenso wächst das internationale Interesse an der Erforschung, Produktion und Entwicklung von UAS, da die Anzahl der produzierenden Länder in den letzten fünf Jahren deutlich zugenommen hat. Und obwohl die meisten luftgestützten Aufklärungssysteme derzeit noch für militärische Zwecke genutzt werden, weist die zivile und kommerzielle Verwendung von UAS in demselben Zeitrahmen das stärkste Wachstum auf.[1] Vor dem Hintergrund, dass die Erforschung von UAS im zivilen Bereich erst Anfang der 1990er Jahre begann, deuten die Wachstumszahlen der letzten Jahre gegenwärtig auf ein großes Interesse an der Nutzung von UAS für zivile Aufgaben hin.

Ein sehr wichtiges Projekt, welches den Einsatz von UAS im zivilen Bereich bereits früh gefördert und ermöglicht hat, war das neunjährige *Environmental Research Aircraft and Sensor Technoloy* (ERAST) Forschungsprojekt in den Vereinigten Staaten. In diesem umfassenden ERAST-Programm der *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) sollten unbemannte Flugzeuge entwickelt werden, die für ausgedehnte wissenschaftliche Missionen in einer Flughöhe von bis zu 30.000 m eingesetzt werden können. Aus dem Projekt heraus sind unter anderem die unbemannten Systeme *Helios, Pathfinder* und *Altus* hervorgegangen, welche für die Umweltforschung und für Messungen in der Atmosphäre eingesetzt werden.[2] Die frühe Auseinandersetzung mit der zivilen Nutzung unbemannter Luftfahrzeuge in den amerikanischen Forschungsarbeiten ist eines von vielen wichtigen Kriterien, welche zur Vorreiterrolle der Vereinigten Staaten im stark wachsenden UAS-Markt geführt haben. Im internationalen Vergleich betrachtet, produzieren und entwickeln die USA 32,47 % der gesamten UAS und sind damit Marktführer. Den zweitgrößten Marktanteil hat Israel mit 6,42 % zu verzeichnen, dicht gefolgt von Frankreich, Großbritannien und der Russischen Föderation. Deutschland positioniert sich im internationalen Marktvergleich mit einem Anteil von 4,01 % auf Rang sechs.[3]

Die Verwendung von UAS für zivile Aufgaben rückt dabei sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene immer mehr in den Fokus. Ziel der vorliegenden Studie ist es daher, die verschiedenen potenziellen zivilen Einsatzbereiche von UAS zu identifizieren und kritisch zu untersuchen. Dabei sollen sowohl die Vorteile als auch die Einschränkungen von unbemannten Luftfahrzeugen beleuchtet werden. Anhand der speziellen Eigenschaften von UAS werden diese mit den existierenden Alternativen, die bereits für zivile Beobachtungsmissionen eingesetzt werden, verglichen und ihr Einsatzpotenzial bewertet. Abschließend werden die Marktpotenziale von unbemannten Flugzeugen im zivilen Bereich abgeschätzt.

Abbildung 1: Entwicklung von UAS 2005–2010



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Blyenburgh et al. (2010), S. 158.

2. Eigenschaften und Funktionen von UAS

Bei der Untersuchung von UAS müssen diese stets als ein Gesamtsystem betrachtet werden, welches sich aus drei Komponenten zusammensetzt: Ein wichtiger Bestandteil ist die Kontrollstation am Boden (*Ground Control Station* – GCS), über welche die Operationen des Luftfahrzeugs verfolgt und gesteuert werden. Eine weitere Komponente ist die Kommunikationsinfrastruktur, die für die Verbindung zwischen Sender und Empfänger notwendig ist. Die Trägerplattform, als dritte Komponente, bezeichnet schließlich das eigentliche Luftfahrzeug, welches vor allem unter dem Begriff *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) bekannt ist. Im deutschen Sprachgebrauch ist auch respektive die Bezeichnung ‚Drohne' üblich.

Die Begriffe UAS und UAV werden teilweise noch synonym verwendet, obwohl die korrekte Definition von UAV nur die Plattform als solche beschreibt. Inzwischen werden in der Literatur deshalb unbemannte Luftfahrzeuge überwiegend als UAS bezeichnet, da dieser Begriff die drei genannten Bestandteile impliziert und somit das Gesamtsystem umfasst.

UAS können durch sehr unterschiedliche Ausprägungen und Eigenschaften gekennzeichnet sein, so dass der Markt eine große Anzahl an verschiedenen Systemen aufweist. Beispielsweise listet UVS International 1.244 unterschiedliche Systeme auf, die momentan weltweit entwickelt werden. Darunter befinden sich neben Prototypen ebenso Systeme, die inzwischen vollkommen marktfähig sind und sich im Betrieb befinden oder auch solche, die nicht mehr eingesetzt werden, weil sie veraltet sind.[4] Die Trägerplattformen selbst lassen sich in verschiedene Größenkategorien unterteilen. Abhängig von der Größe und den Funktionen können bestimmte UAS für spezifische zivile Missionen eingesetzt werden. Inwiefern konkrete unbemannte Systeme für bestimmte zivile Einsatzbereiche geeignet sind, wird im Rahmen des vierten Kapitels näher analysiert. Um ein besseres Verständnis für die sehr unterschiedlichen Eigenschaften und Funktionen von UAS zu generieren und die Produktvielfalt aufzuzeigen, soll im Folgenden eine kurze Übersicht und grobe Kategorisierung erfolgen. Unbemannte Luftfahrzeuge können mithilfe von vier Merkmalen hinreichend charakterisiert werden:

- Reichweite (‚range'),
- Flughöhe (‚flight altitude'),
- Flugdauer (‚endurance') sowie
- maximales Startgewicht (*Maximum Take-Off Weight* – MTOW).

Die folgende Tabelle 1 unterteilt UAS in mehrere Kategorien. Die Angaben der einzelnen Merkmalsausprägungen sind exemplarische Richtwerte, die nicht für alle Systeme in einer definierten Kategorie absolut gelten müssen. Anhand der aufgeführten Werte bei den vier Eigenschaften wird zudem direkt deutlich, dass eine strikte Trennung der einzelnen Klassen nicht möglich ist, da sich bestimmte Merkmalsausprägungen überschneiden bzw. identisch sind.

Tabelle 1: Potenzielle Klassifizierung von UAS

Kategorien	Reichweite (km)	Flughöhe (m)	Flugdauer (h)	MTOW (kg)	Beispiel
Micro & Mini UAV (MUAV)	< 10	300	< 2	< 30	Md4-200
Medium Altitude Long Endurance (MALE)	> 500	15.000	24 – 48	1.500 – 7.000	Talarion, Predator
High Altitude Long Endurance (HALE)	> 2.000	20.000	24 – 48	4.500 – 15.000	Global Hawk
Vertical Take-off and Landing UAV (VTOL UAV)	x – 204	x – 6.100	0,18 – 8	0,019 – 1.400	Nano Hummingbird, MQ-8 Fire Scout

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Blyenburgh et al. (2010), S. 120.

So gibt es beispielsweise sehr kleine Trägerplattformen, die sogenannten Mikro- und Mini-UAVs, welche in der Tabelle unter *Mini Unmanned Aerial Vehicle* (MUAV) zusammengefasst werden. Da sich beide in ihren Ausprägungen nur geringfügig voneinander unterscheiden, werden sie an dieser Stelle einer Kategorie zugeordnet. MUAV haben nur eine relativ geringe Reichweite von wenigen Kilometern und eine niedrige Flughöhe von ca. 300 m. Die Flugdauer von höchstens zwei Stunden ist im Vergleich zu den anderen Kategorien zeitlich stark begrenzt und auch das MTOW von meist unter 30 kg ist relativ klein. Zu den MUAV zählen beispielsweise das von der deutschen Firma *EMT* entwickelte und produzierte Aufklärungssystem *Aladin* (Akronym für: Abbildende luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächstbereich) und die *Md4-200* des deutschen Unternehmens *microdrones GmbH*.

Eine weitere Plattform, die bei der Kategorie der kleineren Systeme noch zusätzlich aufgelistet werden kann, ist das Nano-UAS. Diese unbemannten Aufklärungssysteme sind nur wenige Zentimeter groß und haben entsprechend ein maximales Gewicht von ein paar Gramm. Der von dem amerikanischen Unternehmen *AeroVironment* entwickelte und im Februar 2011 öffentlich vorgestellte *Nano Hummingbird*, welcher den Maßen eines Kolibris ungefähr gleichkommt, ist ein Beispiel für ein solches Nano-UAS.

Deutlich größere und komplexere Systeme stellen die beiden Kategorien Medium *Altitude Long Endurance* (MALE) und *High Altitude Long Endurance* (HALE) dar. Diese erzielen eine im Vergleich zu den oben genannten Systemen lange Reichweite von mehreren tausend Kilometern und eine Flugdauer von bis zu bzw. über 24 Stunden. Bei der Flughöhe erreicht ein MALE-System ungefähr 15.000 m und ein HALE-System bis zu 20.000 m. Das maximale Startgewicht kann für beide Luftfahrzeuge bei mehreren Tonnen liegen und ermöglicht entsprechend eine große Zuladung von Instrumenten.

Im Grunde sind diese unbemannten Trägerplattformen in der Größe vergleichbar mit bemannten Flugzeugen. Ein Beispiel für ein HALE-UAS ist der *Global Hawk* des amerikanischen Unternehmens *Northrop Grumman*. Zu der Kategorie der MALE-Systeme zählen beispielsweise der vom US-Hersteller *General Atomics* entwickelte *Predator*, das von der deutschen Bundeswehr verwendete und vom israelischen Unternehmen *Isreal Aerospace Industries* (IAI) produzierte Aufklärungssystem Heron sowie der *Talarion* von der *European Aeronautic Defence and Space Company* (EADS).

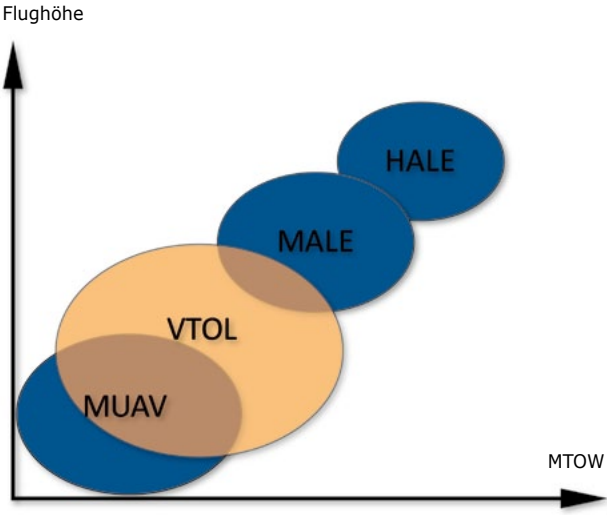
Mithilfe der Kategorie *Vertical Take-Off and Landing* (VTOL) UAV (senkrecht startende und landende Plattformen) können unbemannte Luftfahrzeuge noch weiter klassifiziert werden. Dadurch lassen sich UAS in ‚fixed-wing' (Starrflügler) und ‚rotary-wing' (Drehflügler) differenzieren.[5]

Anhand der Ausprägungen in Tabelle 1 ist erkennbar, dass die Eigenschaften von VTOL-UAVs stark variieren können. Unbemannte Drehflügler können sowohl die Größe eines Kolibris, als auch die Maße eines Helikopters aufweisen. Daher werden MUAVs, wie beispielsweise die *Md4-200*, auch oft in diese Kategorie eingeordnet. Weitere Beispiele für VTOL-UAVs sind der RQ-16 *T-Hawk* des amerikanischen Unternehmens *Honeywell* und der *Camcopter* S-100 der österreichischen Gesellschaft *Schiebel*. Häufig werden VTOL-UAVs durch vier nach unten wirkende Rotoren angetrieben und werden in diesem Fall auch als Quadrokopter bezeichnet.

Abbildung 2 verdeutlicht die genannten Kategorien sowie deren potenzielle Überschneidungen anhand der Dimensionen Flughöhe und maximales Startgewicht.

Im Folgenden werden sowohl MUAVs, MALE- und HALE-Systeme als auch VTOL-UAS betrachtet. Da diese durch verschiedene Merkmalsausprägungen gekennzeichnet sind, resultieren daraus für bestimmte UAS differenzierte Anwendungsmöglichkeiten.

Abbildung 2: Unterteilung von UAS



Quelle: Eigene Darstellung

3. Abgrenzung von UAS gegenüber Alternativen

Um die Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugen im zivilen Bereich zu beurteilen, müssen die Vor- und Nachteile gegenüber Satelliten und bemannten Flugzeugen verglichen werden. Diese sind bereits existierende Alternativen, welche für verschiedene zivile Beobachtungsmissionen eingesetzt werden, so dass UAS als potenzielle Substitute angesehen werden können.[6] Die Vorteile und Einschränkungen von unbemannten Systemen sind teilweise von den in Kapitel 2 aufgezeigten Eigenschaften abhängig. Aufgrund der unterschiedlichen Kategorien existieren auch dementsprechende Differenzen in Bezug auf die Vorzüge sowie Beschränkungen von UAS. Diese werden für alle verschiedenen Systeme in Kapitel 3 zusammenfassend betrachtet.

3.1 Nachteile von UAS

Die größte Einschränkung von UAS liegt in der noch **fehlenden Zulassung** zum Flugbetrieb im allgemeinen Luftverkehr. Das Problem, unbemannte Flugzeuge im gleichen ‚zivilen' Luftraum wie herkömmliche Flugzeuge operieren zu lassen, ist seit mehreren Jahren ein umstrittenes Thema für Piloten, Fluggesellschaften und vor allem auch Flugsicherheitsbehörden. Die gesetzlichen Grundlagen für den Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugen sind in Deutschland Anfang 2010 durch die Bundesregierung geändert bzw. in Ansätzen geregelt worden, um ungeklärte Fragen der Luftsicherheit bei der Nutzung von UAS zu beantworten. Gemäß § 1 Absatz 3 der Luftverkehrsordnung (LuftVO) ist der Betrieb von unbemannten Luftfahrtgeräten demnach verboten, wenn dieser außerhalb der Sichtweite des Steuerers erfolgt oder die Gesamtmasse des Geräts mehr als 25 Kilogramm beträgt.[7] Das generelle Verbot kann jedoch, wie dem weiteren Verlauf der LuftVO zu entnehmen ist, durch eine Ausnahmegenehmigung der zuständigen Luftfahrtbehörde aufgehoben werden. Sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene ist der Betrieb von UAS im allgemeinen Luftverkehr, in dem auch bemannte Flugzeuge fliegen, derzeit jedoch grundsätzlich nicht erlaubt.

Da zukünftige Investitionen sowie Entwicklungen unbemannter Flugsysteme von der Integration dieser in den Luftraum abhängen, wird diese Thematik in verschiedenen Forschungsprojekten intensiv diskutiert. Es geht um die Entwicklung von ‚Sense & Avoid'-Systemen[8] und die Erarbeitung von Anleitungen zur Zertifizierung von UAS sowie die Luftraumintegration. Dabei konnten inzwischen Techniken und Verfahren zur Führung von unbemannten Flugzeugen im kontrollierten Luftraum in Deutschland erfolgreich demonstriert werden, wie beispielsweise bei dem vom *Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung* beauftragten Projekt *Weitreichende Abstandsfähige Signalerfassende Luftgestütze Aufklärung* – HALE (WASLA-HALE).[9] Im Rahmen des WASLA-HALE Projektes wurde das *Advanced Technologies Testing Aircraft System* (ATTAS) als experimentelle UAS-Plattform mit Sicherheitspilot verwendet, um auf dem Bundeswehr-Flugplatz in Manching Testflüge durchzuführen.

Das von der *Bundespolizei* 2009 beauftragte Projekt *Validierung von UAS zur Integration in den Luftraum* (VUSIL) soll ebenfalls durch verschiedene Flugtests mit einem MUAV überprüfen, ob eine sichere Teilnahme am Flugverkehr mit unbemannten Systemen möglich ist. Untersucht werden dabei Notlandeverfahren, Funkverbindungen, Sensorik, Luftraumeinteilung und Höhenstaffelungen.[10] Um vor allem auch zu einer gemeinsamen, internationalen Lösung zu gelangen, wird seit September 2009 in dem internationalen Projekt *Mid Air Collision Avoidance System* (MIDCAS) intensiv an einer Lösung zur Integration von unbemannten Systemen in den Luftraum gearbeitet. An dem von der *Europäischen Verteidigungsagentur* (EDA) beauftragten Projekt sind Schweden, Frankreich, Deutschland, Italien und Spanien beteiligt. Mithilfe des Projektkonsortiums, welches aus 13 Unternehmen der fünf genannten Staaten besteht, soll innerhalb von vier Jahren ein akzeptables Kollisionsvermeidungssystem für UAS in der Luft entwickelt und demonstriert werden.[11]

Mit einem funktionierenden und von den Flugsicherungsbehörden genehmigten ‚Sense & Avoid'-System wäre das Fundament geschaffen, um UAS im gleichen Luftraum wie bemannte Flugzeuge uneingeschränkt operieren lassen zu können. Die europäischen Nationen planen in enger Kooperation mit den Behörden die vollständige Integration von UAS in den allgemeinen Flugverkehr bis 2015. In der Vergangenheit wurde bereits für bestimmte unbemannte Flugzeuge die Nutzung des kontrollierten Luftraums mehrfach genehmigt. Deswegen erscheint die Prognose, dass der ‚regulatorische Akt der Zulassung' und auch die technischen Hürden in den nächsten fünf bis acht Jahren überwunden sein werden, als durchaus realistisch.

Die **politische** und **gesellschaftliche Akzeptanz** für den Einsatz von UAS im zivilen Bereich stellt ein weiteres Hindernis dar, denn der Einsatz unbemannter Fluggeräte für Beobachtungsmissionen ist sehr umstritten. Die Meinungen diesbezüglich divergieren abhängig von der jeweiligen Einsatzmöglichkeit und resultieren vor allem aus zwei kontrovers diskutierten Argumenten: Zum einen wird das Problem des Datenschutzes und damit einhergehend die Verletzung der Persönlichkeitsrechte angeführt, zum anderen wird die Sicherheit der Technik hinsichtlich der Unfallgefahr kritisch hinterfragt.

Die Einsätze von MUAV durch die niedersächsische Polizei während der Castor-Transporte im November 2010 und die Anschaffung eines Quadrokopters durch das sächsische Innenministerium werden vor allem von Datenschutzbeauftragten kritisiert. Um die datenschutzrechtlichen Probleme zu klären und die Privatsphäre sowie Freiheitsrechte jedes einzelnen Bürgers beim zivilen Einsatz von UAS zu gewährleisten, gilt es daher, weitere rechtliche Grundlagen in Bezug auf die Verwendung der erhobenen Daten zu schaffen. Die Vorteile, die beim Bevölkerungsschutz durch den Einsatz von unbemannten Fluggeräten entstehen würden, müssten zudem offen kommuniziert und diskutiert werden. So stößt die Verwendung von kleineren UAS bei Großveranstaltungen in Deutschland, wie beispielsweise Demonstrationen, in der Gesellschaft auf Kritik, zugleich wird aber der Einsatz beim Katastrophenmanagement von den Anwendern überwiegend positiv bewertet. Bei einer Befragung von Berufsfeuerwehren haben insgesamt 73% der Befragten die UAS-Technologie im Allgemeinen befürwortet und als eher positiv angesehen. In Bezug auf die konkrete Verwendung von unbemannten Systemen beim Katastrophenschutz zeigte sich sogar ein Akzeptanzwert von über 82%.[12] Trotz dieser hohen Akzeptanzwerte scheitert der Einsatz beim Katastrophenschutz in Deutschland allerdings bislang an der aktuellen Rechtsgrundlage.

Im Rahmen von UAS-Einsätzen, sowohl bei konkreten Missionen als auch bei Testflügen, wird immer wieder über Unfälle und nicht kontrollierbare unbemannte Flugzeuge berichtet.[13] Solche Nachrichten sowie die mangelnde Akzeptanz in die technischen Fähigkeiten von UAS führen insgesamt zu einer eher kritischen Haltung gegenüber der UAS-Technologie. Bei offenen Fragen in Bezug auf die potenziell höhere Unfallgefahr unbemannter Luftfahrzeuge, die vollautomatisiert fliegen, muss man allerdings zunächst anmerken, dass ungefähr zwei Drittel aller Flugzeugunfälle auf menschliches Fehlverhalten zurückzuführen sind.[14] Hinsichtlich der technischen Anforderungen, die an unbemannte Flugsysteme gestellt werden, müssen dieselben Kriterien wie für bemannte Flugzeuge erfüllt werden.[15] Die Unfallgefahr von UAS ist deswegen nicht per se höher einzustufen als die von bemannten Flugzeugen. Die gesellschaftliche Akzeptanz von UAS ist in diesem Punkt besonders abhängig von dem Vertrauen in die Technik der automatischen Steuerungsanlagen und den Informationen, die über unbemanntes sowie bemanntes Fliegen bereitgestellt werden.

Dieses Vertrauen ist in der Bevölkerung bislang kaum vorhanden. Eine Studie des amerikanischen Konzerns *Boeing* hat ergeben, dass trotz einer Senkung der Flugpreise für Passagiere um 50% durch den Einsatz von UAS, nur 17% der Befragten in Erwägung ziehen würden ein Flugzeug zu nutzen, welches ‚unbemannt' geflogen bzw. gesteuert werden würde. Als Ursache für die eher ablehnende Haltung bzw. die grundsätzliche Unsicherheit bei den Befragten wird aufgeführt, dass zu wenig Informationen und Erfahrungen über die Anwendungen der UAS-Technologie in der Gesellschaft vorliegen.[16] Die ablehnende Haltung ergibt sich somit mehr aus einem Bauchgefühl heraus, als auf Grundlage eines rationalen Entscheidungsprozesses. Durch eine entsprechende Informationsvermittlung über unbemannte Flugsysteme kann die Öffentlichkeit über diese Technologie, ihre Zuverlässigkeit und ihre zivilen Einsatzpotenziale aufgeklärt werden und sich selbst eine fundierte Meinung bilden sowie die allgemeine Unsicherheit gegenüber automatisierter Technik reduzieren. Bereits in der Vergangenheit konnte die politische und gesellschaftliche Akzeptanz für neue, revolutionäre Technologien dadurch erzielt werden, dass die Öffentlichkeit den Nutzen für die Gesellschaft an praktischen Beispielen erfahren hat.

Eine weitere Barriere für den Einsatz von UAS können die hohen **Entwicklungs- sowie Beschaffungskosten** sein. Bei kleineren unbemannten Luftfahrtgeräten können oft kostengünstige ‚Off-the-shelf'-Systeme beschafft werden. Für die größeren MALE- und HALE-Systeme sind jedoch zunächst beträchtliche Investitionen erforderlich.[17] Vor allem die Entwicklung neuer, größerer Trägerplattformen und die Verbesserung der dort eingebauten Sensoren generieren hohe Kosten.

Die Sensoren, welche stets weiterentwickelt und verbessert werden, sind dabei einen wesentlicher Kostentreiber. Die Entwicklungs- sowie Beschaffungskosten von komplexeren UAS entsprechen daher nicht immer denen von bemannten Flugzeugen und können deutlich höher ausfallen. Im Vergleich zu Investitionen in neue Satellitensysteme sind UAS allerdings wesentlich günstiger.

Die Anschaffungskosten für ein unbemanntes System variieren sehr stark abhängig von der jeweiligen Größenkategorie. Ein MUAV, wie beispielsweise die *Md4-200*, kann – abhängig von der Ausstattung – für ungefähr 47.000 Euro angeschafft werden. Im Vergleich dazu liegen die Stückkosten für ein MALE-UAV, wie den *Predator*, bei ca. 4,5 Millionen US-Dollar.[18] Die Stückkosten für bereits entwickelte und einsatzfähige, größere UAS können im Vergleich zu bemannten Flugzeugen und Helikoptern auch deutlich niedriger ausfallen. So geht aus einem Bericht des *Congressional Research Service* (CRS) hervor, dass die Kosten für bemannte Flugsysteme, die bei der Grenzsicherung in den USA eingesetzt werden, zwischen 8,6 Millionen US-Dollar für den Helikopter *CBP Blackhawk* und 36 Millionen US-Dollar für das Flugzeug *Lockheed P-3 Orion* liegen. Gleichzeitig wird jedoch in dem Bericht angemerkt, dass die Betriebskosten wiederum für UAS derzeit doppelt so hoch sind wie die von bemannten Flugzeugen. Dies läge daran, dass UAS unter anderem sehr viel logistische Unterstützung benötigen und speziell geschultes Personal erfordern.[19] Hierbei wird bereits die Problematik der Abgrenzung der einzelnen Kostenbestandteile in einer Gesamtbetrachtung von UAS deutlich.

Um eine vollständige Bewertung der mit einer Systemwahl für einen bestimmten Zweck verbundenen Kosten vornehmen zu können, reicht die isolierte Betrachtung der Entwicklungs- sowie der Beschaffungskosten von unbemannten Systemen im Vergleich zu den Alternativen nicht aus. Vielmehr ist es notwendig, die Kostenvorteile von allen in Betrieb befindlichen UAS-Trägerplattformen, die potenziell entstehen können, mit in die Betrachtung einzubeziehen. Dieser zentrale Aspekt wird in Kapitel 3.2 näher betrachtet.

3.2 Vorteile von UAS

Der wesentliche Vorteil von unbemannten Luftfahrzeugen liegt vor allem in der **langen Verweildauer** in der Luft und der damit verbundenen kontinuierlichen Einsatzmöglichkeit. Dieser Vorteil gilt allerdings nur für größere unbemannte Systeme. Wie bereits in Kapitel 2 anhand der Kategorisierung von UAS gezeigt, beträgt die maximale Flugdauer von MALE-Systemen bis zu 24 Stunden und von HALE-Systemen sogar bis zu 48 Stunden. Im Gegensatz zu bemannten Flugzeugen können UAS daher in einem sehr langen Zeithorizont eingesetzt werden, da sie unabhängig von der maximalen physischen Belastbarkeit eines Piloten sind. Die Piloten selbst können an der Bodenkontrollstation in Wechselschichten arbeiten und dementsprechend die unbemannte Plattform fortdauernd operieren lassen. Dies ist insbesondere für kontinuierliche und gleichbleibende Beobachtungsmissionen relevant und von Vorteil, da diese nicht nur durch eine lange Einsatzdauer, sondern auch durch einen monotonen Ablauf der Flugbewegung gekennzeichnet sind.

Md4-200 / Bild: © microdrones GmbH

Des Weiteren hat das unbemannte Aufklärungssystem gegenüber bemannten Flugzeugen den Vorteil der **Sicherheit**. Aufgrund der Verlagerung des Piloten vom Cockpit in die Kontrollstation am Boden wird dieser durch die Mission beim Einsatz eines UAS selbst nicht gefährdet. Dies spielt vor allem bei riskanten zivilen Einsätzen, wie zum Beispiel im Rahmen von Beobachtungsflügen bei Waldbränden oder Forschungsmissionen in der Arktis, eine wichtige Rolle. Der Vorteil der Sicherheit gilt an dieser Stelle für alle Größenkategorien von unbemannten Systemen.

Ein weiterer positiver Nutzen ist die erhöhte **Flexibilität**. UAS sind aufgrund ihrer Größe und Flugleistungen manövrierfähiger als bemannte Plattformen.[20] So können beispielsweise kleinere Systeme auch innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden, die z. B. einsturzgefährdet sind. Darüber hinaus können sie im Vergleich zu Satelliten jederzeit flexibel innerhalb des erforderlichen Beobachtungsfeldes eingesetzt werden und generieren sofort dynamische Bildaufnahmen. Zwischen der Anforderung und Bereitstellung eines Satellitenbildes liegen derzeit mindestens 24 Stunden, so dass die benötigten Informationen über ein konkretes Lagebild zeitlich sehr verzögert geliefert werden. Teilweise vergehen auch bis zu 72 Stunden.[21] Der zeitlich flexible Einsatz ist deshalb insbesondere beim Krisenmanagement ein entscheidender Vorteil. Auch mögliche Verzerrungen, welche bei Satellitenübertragungen von der Atmosphäre verursacht werden, können von UAS durch eine niedrigere, flexible Flughöhe überwunden werden. Anhand der Kategorisierung aus Kapitel 2 ist erkennbar, dass die differenzierten Plattformgrößen unterschiedliche Flughöhen abdecken können, so dass unterschiedliche Einsatzflüge möglich sind.

Camcopter S-100 / Shipboard Operation / Bild: © Schiebel Corporation

Das Mitführen hochentwickelter **Sensorik** für Aufklärungszwecke ist ebenfalls ein wichtiger Vorteil von unbemannten Systemen. Abhängig von der Größe der Trägerplattform und dem maximalen MTOW können verschiedene Sensoren im UAS mitgeführt und verwendet werden.

Das Angebot an Sensoren ist dabei sehr vielfältig. Bei kleineren UAS werden vor allem hochwertige Video- und Digitalkameras eingesetzt. Des Weiteren kann durch Infrarotsensoren die Tag- und Nachtsicht gewährleistet werden. Es können aber auch Messsysteme integriert werden, die z. B. durch Gas-Sensoren bei atomaren, biologischen und chemischen Unfällen (ABC-Unfälle) Informationen zur Lage liefern können. Größere UAS können aufgrund ihrer sehr hohen Nutzlast (‚Payload') ferner mit Radarsensoren ausgestattet werden. Um Daten unabhängig von den Wetterbedingungen bereitzustellen, kann beispielsweise der Einsatz von Sensoren mit Synthetic Aperture Radar (SAR) erfolgen.[22] Die Sensorik kann im Vergleich zu Satelliten immer wieder im Lebenszyklus eines UAS angepasst werden und ‚state-of-the-art' sein, d. h. Innovationen können nachträglich eingebaut werden. Bei Satelliten wird hingegen die integrierte Technologie einige Jahre vor Verwendung ‚eingefroren', um eine ordnungsgemäße Verifizierung und Validierung der Systeme zu ermöglichen.[23]

Die Sensoren im UAS können sowohl für eine spezielle als auch für unterschiedliche zivile Missionen eingebaut und ausgetauscht werden. Der größere Nutzen, der durch die modulare Einbaufähigkeit von verschiedenen Sensortechniken entsteht, unterstreicht damit auch den Vorteil der Flexibilität, da ein unbemanntes Luftfahrzeug flexibel für unterschiedliche Missionen im zivilen Bereich eingesetzt werden kann.

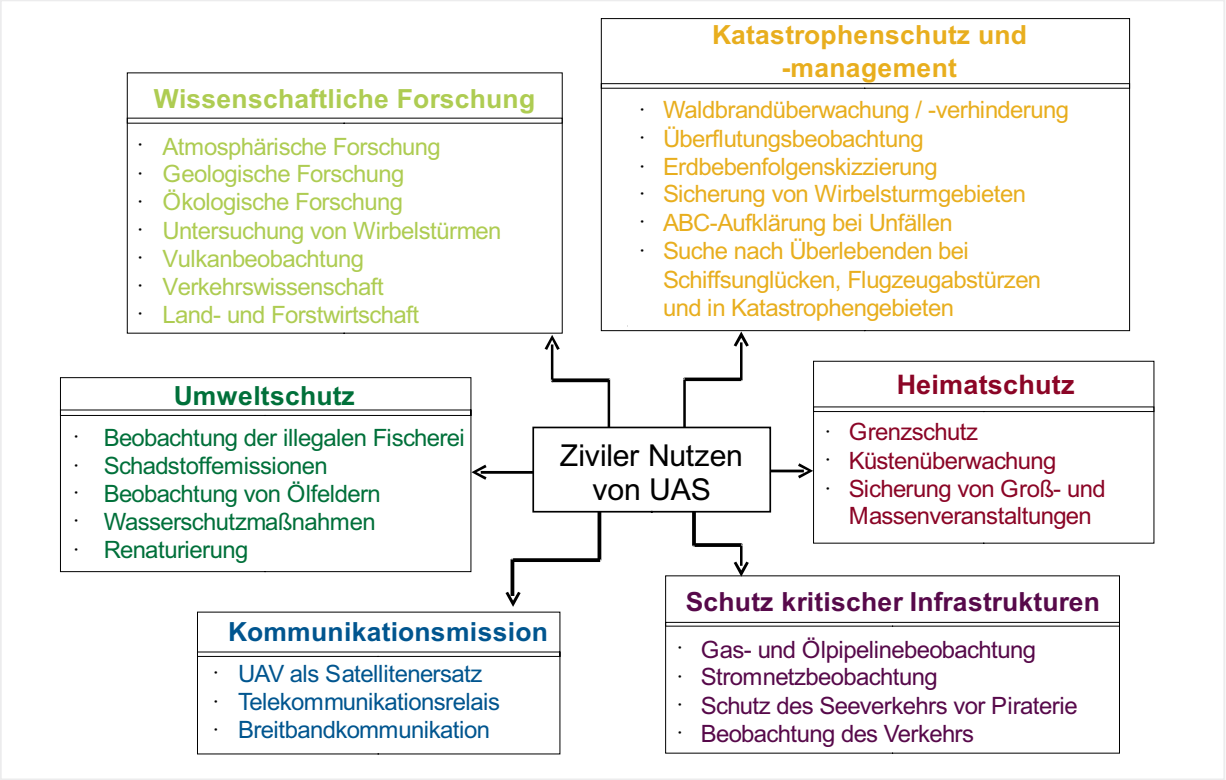
Trotz der bereits erwähnten potenziell hohen Entwicklungs- und Beschaffungskosten könnten durch die oben genannten Vorteile dennoch Kostenvorteile im Betrieb und über die Länge des Lebenszyklus eines Systems erzielt werden. Hinsichtlich der Erzielung von Kostenvorteilen bei UAS gegenüber bemannten Flugzeugen bzw. Hubschraubern divergieren die Meinungen allerdings erheblich. Während UAVNET et al. (2005) von Kostenvorteilen ausgehen, werden in einem Beitrag über UAS im *Behörden Spiegel* (2011) keine Kostenvorteile erwartet bzw. diese kritisch betrachtet.[24] Derzeit übersteigen die Gesamtkosten pro Flugstunde moderner UAS die Gesamtkosten von bemannten Flugzeugen.[25] Bei der Betrachtung der Betriebskosten lassen sich allerdings verschiedene Argumente anführen, welche dennoch zu geringeren Gesamtkosten beim Einsatz eines UAVs führen können. Die Kosten für

einen Hubschraubereinsatz liegen z. B. ungefähr zwischen 3.000 und 6.000 Euro pro Stunde.
Sofern nur ein kleineres Lagebild erstellt werden soll bzw. eine spezielle Situation über einen kurzen Zeitraum beobachtet werden muss und bemannte Luftfahrzeuge nicht erforderlich sind, wäre die Verwendung eines MUAVs als Alternative zum Hubschrauber denkbar. Der Einsatz kleinerer UAS könnte die relativ hohen Einsatzkosten dabei insgesamt senken. Bei der Abdeckung einer sehr großen Beobachtungsfläche über einen längeren Zeitraum wäre hingegen ein MALE-UAS aufgrund der langen Verweildauer geeigneter, weil insgesamt weniger Systeme für die Überwachung einer bestimmten Fläche notwendig wären. Dadurch kann auch eine sehr viel größere Dateninformationsmenge mit nur einem System erfasst werden, so dass neben den Gesamtkosten eine relative Betrachtung der Kosten pro Informationseinheit für die Entscheidungsfindung angemessen erscheint.
Darüber hinaus führt die Verlagerung der Piloten in die Bodenkontrollstation zu geringeren ‚Wartungskosten'. Der Pilot selbst braucht keine realen Flugstunden als Übungsflüge mehr, sondern kann vollständig am Simulator trainieren. Der Pilot ist zudem unabhängiger von regelmäßigen Fluguntersuchungen, welche bei bemannten Flugzeugen in kurzen Abständen vorgeschrieben sind und die in der Konsequenz häufig zu Personalausfällen führen können. Auch die Treibstoffkosten können aufgrund des geringeren Gewichts von UAVs reduziert werden. Des Weiteren ermöglichen die hochentwickelten Sensoren eine optimale Unterstützung bei der Datenauswertung, da die ‚digitale Informationsflut' auf die notwendigen zu beobachtenden Aktionsparameter reduziert werden kann.
Folgerichtig müssen die einzelnen Vorteile von UAS als ein Gesamtpaket betrachtet werden, um beurteilen zu können, ob Kostenvorteile bei Beobachtungseinsätzen im zivilen Bereich erzielt werden. Bisher liegen kaum quantitative Studien vor, welche die unterschiedlichen Kosten zwischen bemannten und unbemannten Systemen untersuchen und gegenüberstellen. Um einen direkten Vergleich zwischen beiden Alternativen zu ermöglichen, müsste eine Kostenanalyse durchgeführt werden, in der die verschiedenen zivilen Einsatzbereiche entsprechend berücksichtigt werden.

4. Einsatzmöglichkeiten im zivilen Bereich

Im zivilen Sektor gibt es zahlreiche Einsatzbereiche, in denen UAS zur Anwendung kommen könnten, die auch verschiedentlich in der Literatur beschrieben und diskutiert werden. Damit diese bislang eher unübersichtliche Ansammlung von Einzelfallbeispielen für den weiteren Verlauf übersichtlicher wird, soll im Folgenden zunächst der Versuch einer Kategorisierung unternommen werden. Die Einsatzbereiche können in sechs Kategorien unterteilt werden, welche in Abbildung 3 dargestellt werden.
Die Unterpunkte der in Abbildung 3 dargestellten sechs Kategorien deuten bereits auf Interdependenzen zwischen den einzelnen Einsatzbereichen hin. So können beispielsweise Daten, welche beim **Katastrophenschutz** oder beim **Schutz kritischer Infrastrukturen** erhoben werden, gleichzeitig auch für den Bereich der **wissenschaftlichen Forschung** genutzt werden. Der Schutz des Seeverkehrs vor Piraterie, welcher zu der Kategorie Schutz kritischer Infrastrukturen gezählt wird, überschneidet sich unter anderem mit der Küstenüberwachung beim **Heimatschutz**. Die Küstenüberwachung kann wiederum für den Bereich **Umweltschutz** hilfreich sein, da bei dieser z. B. illegaler Fischfang aufgedeckt werden kann. Und auch die Beobachtung von Ölfeldern, ein weiteres Einsatzfeld beim Umweltschutz, könnte für das Katastrophenmanagement wichtige Informationen liefern. Anhand dieser Beispiele ist erkennbar, dass die zivilen Einsatzbereiche nicht vollkommen voneinander abgegrenzt betrachtet werden können. Vielmehr entstehen beim Einsatz von UAS im zivilen Bereich **Skaleneffekte**, da während einer Aufklärungsmission zu einem bestimmten Zweck gleichzeitig auch Daten für einen anderen Bereich generiert werden können. Aufgrund der bereits angesprochenen Modularität der Nutzlast kann eine Plattform zudem grundsätzlich mit verschiedenen Sensoren ausgestattet werden, so dass mit nur einer Plattform auch mehrere unterschiedliche zivile Einsätze durchgeführt werden können.
Im Folgenden werden die Einsatzbereiche wissenschaftliche Forschung, Katastrophenmanagement, Schutz kritischer Infrastrukturen und Heimatschutz näher betrachtet und der Nutzen von UAS für ausgewählte zivile Missionen anhand der in Kapitel 3 genannten Vorteile geprüft.

Abbildung 3: Zivile Einsatzbereiche von UAS



Quelle: Eigene Darstellung.

4.1 Verwendung in der Forschung

Unbemannte Aufklärungssysteme können für die Wissenschaft von großer Bedeutung sein. Die Bandbreite der Einsatzbereiche ist sehr vielfältig und geht in die unterschiedlichsten Wissenschaftsbereiche hinein. Insbesondere für die atmosphärische Forschung, die Beobachtung von Vulkanen und die Untersuchung von Wirbelstürmen sind UAS ideal. Doch auch in der Land- und Forstwirtschaft sowie in der Verkehrswissenschaft können unbemannte Systeme hilfreich sein. Wie bereits in der Einleitung erläutert, wurden in den Vereinigten Staaten von Amerika unbemannte Systeme bereits Anfang der 1990er Jahre für die Forschung entwickelt. Die Verwendung von UAS für wissenschaftliche Untersuchungen wurde in der Vergangenheit bereits sehr früh getestet und wird inzwischen immer häufiger genutzt. Anhand von verschiedenen Praxisbeispielen werden nachstehend die unterschiedlichen Einsatzfelder in der Forschung näher untersucht und abschließend bewertet.

Von Mai bis Juni 2002 wurde ein MALE-UAV über dem *North European Aerospace Test Range-Gebiet* (NEAT) im Norden von Schweden im Rahmen von Flugtests, unter anderem auch für den Einsatz bei der atmosphärischen Forschung, getestet. Aufgrund der relativ geringen Bevölkerungsdichte im nördlichen Teil Schwedens wird das NEAT-Gebiet häufig für Testflüge der Luft- und Raumfahrt genutzt. Die verwendete Trägerplattform war das von IAI entwickelte und von EADS betriebene *Eagle* UAV, welches für die Forschungsmission mit einem Teilchenzähler als Sensor ausgestattet wurde. Mithilfe der eingebauten Messinstrumente konnten Daten in Flughöhen zwischen 4.000 und 7.500 Metern erhoben werden, so dass anschließend verschiedene atmosphärische Ebenen analysiert werden konnten. Aus wissenschaftlicher Sicht war der Flug insgesamt ein voller Erfolg.[26]

Im November 2005 wurde nach einer fast 20-stündigen Mission über dem östlichen Pazifik das UAS Demonstrationsprojekt von der amerikanischen Wetter- und Ozeanografiebehörde, die *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA), erfolgreich abgeschlossen. Mit 140 kg ‚Payload' ausgestattet, konnte das UAS *Altair*, eine Variante des *Predators*, in der unteren Stratosphäre (ca. 13.000 Meter Höhe) atmosphärische Daten für wissenschaftliche Zwecke sammeln.[27]

Ein Jahr nach der erfolgreichen Mission der NOAA wurde eine zivile Version des *Predators* im November 2006 vom *Dryden Flight Research Center* (DFRC) der NASA zur Unterstützung der geowissenschaftlichen Forschung sowie der Entwicklung fortschrittlicher Luftfahrttechnologie akquiriert. Unter dem Namen *Ikhana* wird dieses unbemannte System zudem als Plattform verwendet, um Fähigkeiten und Technologien zur Verbesserung der Nutzung von UAS zu erforschen und zu entwickeln.[28] Darüber hinaus wurde 2010 der *Global Hawk* für die Beobachtung von Hurrikans eingesetzt und konnte sehr detaillierte Daten über die Entstehung und den Verlauf von Wirbelstürmen liefern.[29] „It would be like parking a satellite above the storm." [30], kommentiert die Leiterin des NOAA-UAS-Programmes in Boulder den Einsatz von großen, unbemannten Systemen bei der Hurrikanforschung und betont damit den Vorteil der Flexibilität gegenüber Satelliten, welche aufgrund ihrer Entfernung keine so detaillierten Daten liefern und dem Sturm auch nicht folgen können.

Die genannten Beispiele verdeutlichen die Bandbreite der zivilen Aufgaben für größere Systeme in der Forschungsarbeit. Doch auch kleinere UAS werden häufig für wissenschaftliche Forschungszwecke benötigt und verwendet.

So wurde beispielsweise im Verbundforschungsprojekt ANDROMEDA (Akronym für: Anwendung Drohnen-basierter Luftbilder – Mosaikierung, Entzerrung und Daten-Auswertung) ein kleineres UAS entwickelt, mit welchem die Erfassung von Luftbildern und die automatisierte Bildaufbereitung sowie Bildauswertung möglich ist, um raumbezogene Informationen aus der Luft zu erfassen.[31] Mithilfe dieses Systems konnten 2010 die Folgeschäden eines Sturmtiefs im Thüringer Wald ermittelt werden. Das unbemannte Flugzeug vom Typ *Carolo P 200* hat dabei eine Waldfläche von 3.100 Hektar überflogen und bei einem einstündigen Flug mehr als 3.000 Luftbilder erstellt.[32] Diese Bilder ermöglichten eine sehr gute und praxistaugliche Kartierung der beschädigten Bäume, die den Förstern zeitnah zur Verfügung gestellt werden konnte und mit deren Hilfe weitere Schäden durch Borkenkäferbefall reduziert werden konnten. Der Einsatz von unbemannten, kleineren Systemen in der Forstwirtschaft könnte daher in Zukunft, sofern die rechtlichen Rahmenbedingungen geregelt sind, eine wichtige zivile Aufgabe darstellen. Auch in der Landwirtschaft werden in Japan bereits kleinere VTOL-UAVs unterstützend eingesetzt.

Das Institut für Geoinformatik an der Universität Münster forscht ebenfalls mithilfe von MUAVs an zivilen Einsatzbereichen von kleineren, unbemannten Systemen in den Geowissenschaften.[33] Als Plattform wird unter anderem der selbst entwickelte *ificopter* verwendet, der Messdaten aus der Luftperspektive erheben und somit Geodaten sammeln sowie aufbereiten kann.

In der Vulkanforschung können MUAVs ebenfalls hervorragend eingesetzt werden. Die Mitarbeiter des Instituts für Luft- und Raumfahrtsysteme der Technischen Universität Braunschweig haben mit einer ähnlichen Version des bereits oben erwähnten UAS *Carolo* erfolgreich Vulkanbeobachtungen in Ecuador durchgeführt.[34] Das unbemannte System konnte in die Krater der aktiven Vulkane *Cotopaxi* und *El Reventador* fliegen und Bilder von Lavaströmen generieren.

Die Möglichkeit riskante Einsätze, wie z. B. bei der Vulkan- oder Wirbelsturmbeobachtung, durchführen zu können ohne Besatzungsmitglieder zu gefährden, unterstreicht den Sicherheitsvorteil von UAVs gegenüber bemannten Flugzeugen. So können MUAVs in Regionen, wie beispielsweise dem Krater eines Vulkans, eingesetzt werden, die für bemannte Luftfahrzeuge nicht erreichbar sind. Auch für Forschungsmissionen über dem Polargebiet oder dem offenen Meer, bei welchen eine Notlandung mit Risiken für den Piloten verbunden wäre, eignen sich UAS in besonderem Maße.[35] Zudem spielt der Vorteil der Flexibilität ebenfalls eine herausragende Rolle, da unbemannte Flugzeuge relativ unabhängig von den Wetterbedingungen eingesetzt werden können. Des Weiteren zeigen die oben genannten Anwendungen, dass im Bereich der wissenschaftlichen Forschung die Erhebung von Daten über einen längeren, kontinuierlichen Zeitraum erforderlich ist. Deshalb sind MALE- und HALE-Systeme aufgrund ihrer langen Verweildauer gegenüber bemannten Flugzeugen eine deutlich bessere Alternative. Auch in Bezug auf die Sensorik bieten modulare, unbemannte Aufklärungssysteme im Vergleich zu Satelliten die fortschrittlichere Variante der Datenerfassung, welche für den Erkenntnisgewinn in der Forschung von großer Bedeutung ist. Die Erhebung von Luftdaten in der Atmosphäre mithilfe von eingebauten Messinstrumenten bietet außerdem eine wesentlich größere Datengrundlage als die horizontale Luftbilderfassung von Satellitensystemen. Die automatisierte Bildauswertung erleichtert zudem den Prozess der Ergebnisverarbeitung.

Insgesamt betrachtet sind UAS vor allem für Wissenschaftler der Geowissenschaften und Atmosphärenforschung ein vielversprechendes Instrument in der Forschungsarbeit. Unabhängig von der Größe der Plattform und der möglichen Verweildauer sowie den Fähigkeiten, die bereit gestellt werden, wird es immer Wissenschaftler geben, die UAS verwenden und auch in Zukunft neue Entwicklungen in diesem Bereich nachfragen werden.[36] Kleinere Systeme eignen sich in der Forschung besonders für temporäre Einsätze innerhalb eines konkret vorgegeben, räumlich begrenzten Gebietes. Aufgrund der langen Verweildauer in Flughöhen von mehreren tausend Metern sind MALE- und HALE-UAS für Forscher dort von hohem Interesse, wo diese System Einblicke in bisher noch wenig erforschte Zonen ermöglichen und dadurch neue Erkenntnisse der Atmosphärenforschung gewonnen werden können.

Bodenkontrollstation eines UAS / Bild: © B. Berns, Luftwaffe

4.2 Katastrophenschutz und -management

Die Verwendung von UAS zum Schutz vor Katastrophen sowie beim Katastrophenmanagement hat einen besonders hohen Stellenwert. UAS können zum einen bei Naturkatastrophen wie Waldbränden, Überflutungen, Erdbeben und gefährlichen Stürmen zur Beobachtung und Einschätzung der Lage eingesetzt werden. Zum anderen können sie spezifische Such- und Rettungsdienste, wie beispielsweise die Suche nach Überlebenden von Schiffsunglücken oder Flugzeugabstürzen respektive die Suche nach Verschütteten in Katastrophengebieten oder Lawinenopfern, unterstützen. Auch bei anderen Katastrophen, wie beispielsweise ABC-Unfällen oder Öltankerschäden, können UAS für die Informationsgewinnung verwendet werden. In der Vergangenheit hat sich der Einsatz von UAS in Katastrophenfällen bereits als sehr hilfreich erwiesen. Wie bereits im vorangegangen Kapitel werden erneut unterschiedliche Beispiele aus der Praxis aufgeführt, die im Hinblick auf die bestehenden Alternativen bewertet werden.

Im Oktober 2007 wurde das bereits erwähnte UAS *Ikhana* während der verheerenden Waldbrände in Kalifornien zur Feueraufklärung eingesetzt.[37] Mithilfe von speziell eingebauten Wärmebildsensoren konnten die genauen Koordinaten der Flammen an die Löschflugzeuge weitergeleitet werden, so dass eine effektivere Bekämpfung des Feuers möglich war. Im Vergleich zu Satelliten waren hier die dynamische Bildaufnahme sowie die deutlich bessere Bildauflösung von großem Vorteil für die Einsatzkräfte. Auch die lange Verweildauer des UAS sowie die Risikominimierung in Bezug auf die Gefährdung der Piloten sind zwei Hauptkriterien, welche für den Einsatz von UAS bei Waldbränden sprechen. Während der erfolgreichen Unterstützung der Feuerbekämpfung wurde gleichzeitig mithilfe der eingebauten Sensoren in Ikhana eine sehr große Datenmenge bezüglich der Waldbrandfläche erhoben. Diese Datensätze konnten im Anschluss auch für Forschungszwecke verwendet werden und spiegeln somit den doppelten Nutzen von einem UAS-Einsatz für zwei verschiedene Bereiche wieder.

UAS können nicht nur bei großflächigen Waldbränden hilfreich sein, sondern auch bei räumlich begrenzten Feuereinsätzen Unterstützung bieten. So verwendet die britische Feuerwehr *West Midlands Fire Service* (WMFS) seit 2007 in Großbritannien das *Incident Support Imaging System* (ISiS), bei welchem das deutsche MUAV md4-200 eingesetzt wird, um die Unfallabwicklung aus der Luftperspektive zu unterstützen. ISiS wurde beispielsweise vom WMFS während eines Brandereignisses auf einem Hochschulgelände im Oktober 2008 verwendet, um dem Einsatzkommando thermische Videobilder der Brandentwicklung auf dem Dach des Gebäudes zu liefern. Mithilfe der Livebilder konnte unmittelbar festgestellt werden, dass sich die Dachkonstruktion in einem schlechteren Zustand als erwartet befand und somit die besondere Aufmerksamkeit der Feuerwehr verlangte.[38] Dadurch konnten letztlich die Löscharbeiten so gesteuert werden, dass das Risiko für die Einsatzkräfte minimiert wurde.

Auch bei der Beobachtung von Überflutungen können UAS unterstützend tätig werden.

Aufgrund der langen Verweildauer können kontinuierlich Informationen über die Lageentwicklung, sowohl tagsüber als auch nachts, erhoben werden. Deiche würden in regelmäßigen Abständen überflogen werden und kritische Stellen könnten unmittelbar identifiziert werden. Die schnelle Beschaffung von Lageinformationen sowie die Beobachtung der Überschwemmungsentwicklung sind essentiell für das Katastrophenmanagement, um die Bevölkerung rechtzeitig zu warnen sowie in Sicherheit zu bringen.

Vor allem für die schnelle Erstellung von Luftbildern zur Lage des betroffenen Krisengebietes und die Messung von ausgetretenen Schadstoffen sind UAS gut geeignet. Zwei Tage nach dem schweren Erdbeben in Haiti im Januar 2010 wurde der *Global Hawk* 14 Stunden lang eingesetzt, um das Ausmaß der Katastrophe zu erfassen. Mithilfe der in guter Auflösung gewonnenen Lagebilder konnten unter anderem freie Start- und Landeflächen für Hubschrauber und Hilfsflugzeuge ermittelt werden. Dies war einer der ersten Einsätze des *Global Hawks* im Rahmen der Katastrophenhilfe in der Karibik.[39]

Nach dem Seebeben und einem dadurch ausgelösten Tsunami in Japan im März 2011 kam es zu schweren Schäden im Atomkraftwerk *Fukushima Daiichi*. Auch hier wurde das HALE-UAS über dem Kraftwerk sowie dem Katastrophengebiet eingesetzt, um Bildaufnahmen der Gebäude und der überfluteten Küste zu generieren. Mithilfe der Hochleistungs-Infrarotsensoren konnten Temperaturerhöhungen und Überhitzungen an den Kraftwerksgebäuden festgestellt und fast in Echtzeit an die Einsatzkräfte übermittelt werden. Durch wiederholte Überflüge des unbemannten Systems konnten die Veränderungen der Wärmequelle beobachtet und der tatsächliche Erfolg der Kühlung der Reaktoren abgeschätzt werden.[40]

Ebenso wurde das bereits oben genannte VTOL-UAV *RQ-16 T-Hawk* im April 2011 unmittelbar an den zerstörten Reaktorgebäuden eingesetzt, um Lagebilder vor Ort zu erstellen sowie Messungen der radioaktiven Strahlung durchzuführen. Durch den Einsatz unbemannter Aufklärungssysteme, sowohl größerer als auch kleinerer, konnte somit die Gefahrenlage beobachtet und besser eingeschätzt werden, ohne dabei die Sicherheit der Einsatzkräfte durch zu hohe radioaktive Strahlung zu gefährden.

Nach dem Tsunami im Dezember 2004 im Indischen Ozean wurde das MALE-UAS *Heron* zur Lokalisierung von verschütteten Personen und Vermissten eingesetzt. Eine Untersuchung in Schweden hat zudem ergeben, dass die Entdeckung sowie Lokalisierung von Menschen in einem simulierten Katastrophenfall mithilfe von kleineren UAS ebenfalls

EuroHawk Landung in Manching / Bild: © EADS

wirksam durchgeführt werden kann.[41] An dieser Stelle muss zwischen der Suche nach Vermissten bzw. Verschütteten in einem Katastrophengebiet und der konkreten Suche nach einer einzelnen verschwundenen Person unterschieden werden. Da es sich bei einem Katastrophenfall meist um ein abgrenzbares Einsatzgebiet handelt, das abgesucht werden muss, können UAS in einem solchen Fall durchaus hilfreich sein. Die Unterstützung von UAS bei der Personensuche von einzelnen Vermissten in großflächigen Gebieten, die nicht konkret abgegrenzt werden können, wird hingegen eher kritisch bewertet. Hier könnten zwar ebenfalls kleinere, unbemannte Systeme mit Wärmebildkameras aus der Vogelperspektive zur Unterstützung eingesetzt werden, jedoch sind Hundertschaften mit Spürhunden am Boden in einem solchen Fall effektiver und gründlicher.[42]

Bei Such- und Rettungsmissionen in Krisengebieten sind die lange Verweildauer des Flugkörpers sowie die flexible Beobachtung einer größeren Fläche, insbesondere bei Unfällen auf dem offenen Meer, von tragender Bedeutung. Wärmebildkameras ermöglichen den Einsatz zu allen Tages- und Nachtzeiten und können vor allem nach Schneelawinen in Gebirgen hilfreich sein. Um jedoch der gefährdeten Person unmittelbare Hilfeleistungen zukommen zu lassen, ist ein Zusammenspiel von UAS und Rettungskräften in einsatzbereiten Helikoptern bzw. anderen Fahrzeugen erforderlich.

Der Einsatz von UAS zur Unterstützung der zivilen Sicherheit im Katastrophenfall ist ein hochaktuelles Thema, welches in verschiedenen

Forschungsprojekten untersucht und diskutiert wird. Das *Bundesministerium für Bildung und Forschung* (BMBF) fördert seit Juli 2008 das Projekt *AirShield* (Akronym für: Airborne Remote Sensing for Hazard Inspection by Network-Enabled Lightweight Drones), in welchem ein System entwickelt werden soll, das Daten zu einer gefährlichen Schadenslage aus der Luft erheben kann. Im Projekt werden kleinere, autonome und mobile Flugroboter mit leichtgewichtiger Sensorik eingesetzt, die beispielsweise bei einem Brand im Stadtgebiet verwendet werden können, um Gefahrensituationen zu erkunden und zu prognostizieren. Mithilfe der unbemannten Systeme sollen den Behörden und anderen Organisationen entscheidungsunterstützende Informationen aus der Vogelperspektive geliefert werden, die den Institutionen dann bei ihren auszuführenden Sicherheitsaufgaben helfen können.[43] Neben Deutschland, den USA und Großbritannien sind auch noch viele andere Nationen, wie z. B. Südkorea und Frankreich, an der Entwicklung von unbemannten Beobachtungssystemen für das Krisenmanagement interessiert.

Für Hilfsorganisationen können UAVs ebenfalls ein nützliches technisches Instrument beim Katastrophenmanagement sein. Für das *Technische Hilfswerk* (THW) beispielsweise wären vor allem kleinere Systeme von großem Interesse, um mithilfe von Wärmebildkameras Verschüttete zu lokalisieren und Lagebilder einer Katastrophengegend zu erstellen. Besonders nach schweren Erdbeben wären UAS effektiver als bemannte Helikopter, da diese bei einsturzgefährdeten Gebäuden durch den zu starken Auftrieb zum endgültigen Zusammenbrechen der Gebäude führen könnten.[44] Grundsätzlich können MUAV daher, im Gegensatz zu bemannten Fluggeräten, sehr nahe am Einsatzort sowie auch in beschädigten Gebäuden im Krisengebiet geflogen werden ohne dabei die Rettungskräfte zu gefährden. Doch nicht nur kleinere UAVs werden von Hilfsorganisationen in Betracht gezogen. Auch MALE-Systeme wären prinzipiell nützlich, da sie als Kommunikationsplattform eine Alternative zu Satelliten in Krisengebieten darstellen und die Kosten der Kommunikation senken könnten.

UAS stellen insgesamt ein effektives Komplement im Katastrophenschutz und -management dar. Bereits heute ist anhand der verschiedenen Praxisbeispiele erkennbar, dass unbemannte Flugsysteme ein großes Potenzial bergen, um im zivilen Krisenmanagement eingesetzt zu werden und Informationslücken beim Bevölkerungsschutz zu schließen. Insbesondere die Vorteile der langen Verweildauer, der Sicherheit und der sofortigen, flexiblen Verfügbarkeit sprechen für den Einsatz von unbemannten Aufklärungssystemen in Katastrophensituationen.

Camcopter S-100 / Bild: © Schiebel Corporation

4.3 Schutz kritischer Infrastrukturen

Eine weitere zivile Nutzungsmöglichkeit von UAS ist der Einsatz beim Schutz von kritischen Infrastrukturen. Dieser beinhaltet die Überwachung von Gas- und Ölpipelines sowie des Stromleitungsnetzes, die Beobachtung des Straßenverkehrs, der Schieneninfrastruktur sowie der Seewege, z. B. zum Schutz vor Piraterie.

In Europa existiert ein Gaspipelinesystem mit einer Länge von über 300.000 km. Die kontinuierliche Beobachtung des weit verzweigten Gas- und Ölpipelinenetzes ist essentiell, um Unfälle und unkontrollierten Gasaustritt zu vermeiden und somit die Energieversorgungssicherheit und einen sicheren Betrieb der Anlagen zu gewährleisten. Insbesondere Gas- und Ölleitungen in Regionen mit extremen Wetterkonditionen, wie z. B. in Russland, Alaska und Afrika, müssen regelmäßig überwacht werden, um Versorgungsrisiken zu mindern. Pipelinesysteme werden durch zwei unterschiedliche Faktoren bedroht. Zum einen bestehen natürliche Gefährdungen und zum anderen existieren Bedrohungen, die durch Menschen verursacht werden. Zur Risikovorsorge müssen entlang der Pipeline-Routen sowohl die natürlichen als auch die von Personen verschuldeten Gefahren, die in einem Radius von 20 Metern um die Pipeline herum auftreten, erfasst werden. Zudem müssen alle Transporttätigkeiten und durchgeführten Arbeiten innerhalb eines circa 200 Meter langen Streifens neben der Pipeline gemeldet werden, sofern die Annahme besteht, dass die Pipeline durch diese Tätigkeiten beeinflusst bzw. gefährdet werden kann.[45] Zu den natürlichen Ge-

fahren zählen vor allem nicht kontrollierbare Erdbewegungen und Überschwemmungen. Von Menschen verursachte Gefahren können z. B. durch Kabelverlegungsarbeiten, Rohrverlegungen, Bohrungen und vieles mehr entstehen. Ferner werden die internationalen Öl- und Gaspipelinenetze zunehmend durch Kriege sowie Terroranschläge bedroht.[46] Auch Diebstahl durch das Ableiten von Gas bzw. Öl gefährdet die Sicherheit und Funktionsfähigkeit der Pipelineanlagen. Alle genannten Gefährdungen können zu Explosionen führen, die vor allem in dicht besiedelten Wohngebieten erheblichen Sachschaden verursachen oder Menschenleben kosten können.

Die Kontrolle der Energieinfrastrukturen erfolgt zurzeit überwiegend mit Helikoptern, kleineren bemannten Flugzeugen sowie durch Fußpatrouillen und ist in bestimmten Regionen mit sehr hohen Kosten verbunden. Die Ausgaben für die Sicherung von Öl- und Gasnetzen sind in den letzten Jahren für Konzerne und auch Regierungen aufgrund der genannten Gefahren sehr stark angestiegen. Für Pipelinebetreiber ist sowohl eine beständige als auch kostengünstige Beobachtung der Gas- und Ölleitungen von hoher Bedeutung. Kleinere, unbemannte Systeme sowie MALE-UAS bieten dabei eine adäquate Plattform für ein kontinuierliches Überwachungssystem.[47] Die lange Verweildauer der UAS ist erneut das herausragende Argument und spricht für den zivilen Einsatz von UAS bei der Pipelinebeobachtung.

Satelliten als Alternative sind eher problematisch, da die Verfügbarkeit dieser innerhalb des notwendigen Beobachtungskorridors zurzeit begrenzt und sehr teuer ist. Zudem kann die Datenerfassung durch Wolken behindert werden.[48] In dieser Hinsicht bieten UAS den Vorteil der Flexibilität, da sie in unterschiedlichen Flughöhen operieren können und für die notwendigen Strecken jederzeit verfügbar wären. Beim Schutz kritischer Infrastrukturen sind somit die Vorteile der langen Verweildauer und der Flexibilität entscheidend, da die Überwachung von Gas- und Ölleitungen zu jeder gewünschten Zeit flexibel und fortdauernd erfolgen kann. Trotz der genannten Vorteile werden unbemannte Flugsysteme bisher kaum für die Pipelinebeobachtung eingesetzt, welches insbesondere auf die fehlende Zulassung zum allgemeinen Luftraum zurückzuführen ist. Dass der Einsatz dennoch möglich ist und praktiziert wird, zeigt das israelische Unternehmen *Aeronautics Defense Systems*. Diese verwenden das UAS *Aerostar* für den Schutz und die Überwachung der Pipelines von *Chevron Texaco* in Angola.[49]

Insgesamt betrachtet sind für die Abdeckung der gesamten Gas- und Ölleitungen durch den Einsatz von UAS weniger Beobachtungssysteme im Vergleich zu bemannten Systemen notwendig, so dass prinzipiell Kostenvorteile erzielt werden könnten. Die Kosten für einen UAS-Einsatz müssten dabei weniger als 15 US-Dollar pro Streckenkilometer betragen, um für Energieinfrastrukturbetreiber von Interesse zu sein.[50] Bislang sind die tatsächlichen Kosten je Streckenkilometer für UAS aufgrund fehlender gesetzlicher Grundlagen nicht eindeutig berechenbar. Sofern jedoch Kostenvorteile gegenüber bemannten Systemen erreicht werden können, besteht ein großes Potenzial für UAS bei der Unterstützung der Pipelineüberwachung.

Die Anwendung von UAS für die Beobachtung und Sicherung des Straßenverkehrssektors ist ein weiteres Einsatzfeld, welches bereits in verschiedenen Forschungsarbeiten untersucht worden ist und auch weiterhin erforscht wird. Dabei werden die Testflüge während der Untersuchungen meistens mit einer MUAV-Plattform durchgeführt. Das Spektrum der Einsatzmöglichkeiten für unbemannte Flugsysteme im Verkehrssektor ist insgesamt sehr vielfältig. So können UAS zur Beobachtung der allgemeinen Verkehrslage und der Straßenbedingungen verwendet werden, bei Verkehrsunfällen Unterstützung bieten oder für verkehrswissenschaftliche Forschungszwecke nützlich sein. Durch eine kontinuierliche Beobachtung der Verkehrsbewegungen können allgemeine Daten über die Auslastung der Straßen gesammelt und Verkehrsstauungen verfolgt werden.[51] Dies ist insbesondere während der Peak-Zeiten, wie beispielsweise bei stark befahrenen Autobahnen in der Hauptreisezeit, relevant. Die gewonnenen Daten zur Verkehrsauslastung könnten letztlich auch den Reisenden als Informationsquelle zur Verfügung gestellt werden, um hoch frequentierte Strecken zu umfahren und dadurch zu entlasten. Die Datenbasis kann dabei nicht nur für das Transportmanagement verwendet werden, sondern ist gleichzeitig auch für die verkehrswissenschaftliche Forschung von großem Nutzen und reflektiert an dieser Stelle erneut die Skaleneffekte von UAS.

Bisher werden überwiegend Induktionsschleifen und fest installierte Videokameras zur Verkehrserfassung und -beobachtung verwendet. Doch auch Hubschrauber werden für die Verkehrsüberwachung von der Polizei und anderen Institutionen genutzt.

Unbemannte Systeme haben gegenüber den befestigten Instrumenten den Vorteil der Flexibilität, da sie auch in abgelegene, bislang nicht erfasste Gebiete geflogen werden können und so z. B. auch den Stauvermeidungsverkehr messen können. Im Vergleich zum Hubschraubereinsatz könnten UAS ohne zusätzlichen Personalaufwand und nahezu unabhängig von limitierten Zeitvorgaben für die Inspektionen von Verkehrswegen zeitlich flexibel eingesetzt werden. Denkbar wäre dabei unter anderem der Überflug einer Region im Vorfeld von Straßenbauprojekten, um Informationen für die Raumplanung und die Kosten-Nutzen-Analyse einzelner Baumaßnahmen zu erhalten. Der Einsatz eines Hubschraubers wäre für solche speziellen Zwecke aufgrund zu hoher Kosten nicht verhältnismäßig. Der Einsatz von kleineren, unbemannte Flugsystemen ist allerdings nicht bei jedem Wetter problemlos möglich. So musste z. B. ein UAS-Test für das *Washington State Department of Transportation* im Rahmen von Verkehrsbeobachtungsflügen abgebrochen werden, da die Wetterkonditionen zu starken Turbulenzen des unbemannten Miniflugzeuges geführten haben.[52]

bei der Verkehrsüberwachung sein können.[53] Die Integration einer solchen Plattform in den Straßenverkehrssektor ist jedoch nur möglich, wenn die rechtlichen Vorrausetzungen dafür geschaffen werden.

Zum Schutz kritischer Infrastrukturen zählt ebenfalls der Schutz des Seeverkehrs vor Piraterie. In den letzten vier Jahren ist die Zahl der Piratenangriffe in der Schifffahrt deutlich gestiegen.[54] Vor allem das Seegebiet vor der somalischen Küste ist stark betroffen. Auch hier können UAS im zivilen Bereich verwendet werden und sind bereits zu Aufklärungszwecken nach Piratenüberfällen im Einsatz. Aufgrund der langen Verweildauer der MALE- und HALE-Systeme wäre eine sehr große Abdeckung und Beobachtung der betroffenen Regionen über einen kontinuierlichen Zeitraum möglich, so dass die sich relativ schnell annähernden Piratenschiffe frühzeitig erkannt werden könnten.

Abschließend kann festgehalten werden, dass der Schutz kritischer Infrastrukturen eine wichtige zivile Aufgabe darstellt, die mithilfe von UAS bewältigt werden kann. Abhängig von der

Aufklärungsdrone ADS-95 über Luzern / Bild: © Schweizer Luftwaffe

Sofern die Plattform jedoch groß genug und somit auch wetterresistent ist, können UAS ohne großen Zeitverzug Informationen zur aktuellen Verkehrslage liefern.

Auch die Kontrolle von Straßenregionen, die lawinen- bzw. erdrutschgefährdet sind, kann durch unbemannte Plattformen gut übernommen werden. Aufgrund sehr vieler positiver Ergebnisse von Experimenten und den Vorteilen von unbemannten Systemen ist inzwischen weitgehend anerkannt, dass UAS sehr nützlich und erfolgreich

Beobachtungsmission können auch hier wieder unterschiedliche Plattformkategorien als Aufklärungsinstrument genutzt werden. Für die Verkehrsbeobachtung sind vor allem kleinere Systeme mit einer geringen Nutzlast und einer relativ niedrigen Flughöhe geeignet. Bei der Pipelineüberwachung können sowohl kleinere als auch größere unbemannte Flugzeuge verwendet werden. Im Bereich der Seeverkehrsbeobachtung hingegen werden sich voraussichtlich überwiegend MALE- und HALE-Systeme durchsetzen.

4.4 Einsatz im Heimatschutz

UAS können auch für den Heimatschutz genutzt werden, um die innere Sicherheit zu erhöhen. Dieses zivile Aufgabenfeld überschneidet sich teilweise mit dem des Schutzes kritischer Infrastrukturen und wird in der Gesellschaft und Politik am kontroversesten diskutiert. Zu der zivilen Aufgabe des Heimatschutzes zählen in diesem Fall der Grenzschutz respektive die Grenzkontrolle, die Küstenüberwachung sowie die Sicherung von Groß- und Massenveranstaltungen. Die Verwendung von unbemannten Aufklärungssystemen im Heimatschutz ist insbesondere für staatliche Institutionen von großer Bedeutung und wird in einigen Ländern bereits verstärkt praktiziert. Anhand unterschiedlicher Beispiele aus der Praxis wird der Einsatz von UAS im Heimatschutz näher skizziert sowie kritisch beurteilt.

Das *Department of Homeland Security* (DHS) investiert seit mehreren Jahren erhebliche Beträge in die Anschaffung von UAS für den Grenzschutz. Allein für das Wirtschaftjahr 2010 wurden 32 Millionen Dollar für die Akquisition von zwei zusätzlichen unbemannten Luftfahrzeugen für die *US Customs and Border Protection* (CBP) Behörde bewilligt.[55] Derzeit sind sechs UAS vom Typ *Predator* im Besitz der CBP und unterstützen die Überwachung der südwestlichen sowie der nördlichen Grenze der Vereinigten Staaten. Auch in Europa wird ein unbemanntes Aufklärungsflugzeug, der *Ranger* des Schweizer Konzerns *RUAG*, seit 2006 für die Überwachung an der Schweizer Grenze eingesetzt.

Die deutsche Bundespolizei setzt sich ungefähr seit 2005 mit der Thematik, unbemannte Flugzeuge für die Grenzsicherung und weitere Einsatzfelder zu nutzen, auseinander. UAS werden als taktisches Hilfsmittel zur Unterstützung der bestehenden Einsatzmittel im Rahmen von Forschungsprojekten untersucht und durch Testflüge erprobt.[56] Beim Grenzschutz ist grundsätzlich die Abdeckung einer sehr großen Fläche über einen beständigen Zeitraum notwendig. Da ein MALE-UAS etwa zehnmal länger als ein bemannter Helikopter in der Luft operieren kann, ist erneut der Vorteil der langen Verweildauer das ausschlaggebende Argument für den Einsatz von unbemannten Systemen bei der Grenzüberwachung. Und obwohl die Betriebskosten von UAS im Vergleich zu bemannten Flugzeugen momentan noch höher eingeschätzt werden, muss die Leistungsfähigkeit der UAS in Bezug auf die extrem lange Flugdauer bei einem Kostenvergleich berücksichtigt werden.[57] Insbesondere durch die Reduktion der Anzahl der eingesetzten Systeme können mittelfristig Kosteneinsparungen bei der Grenzkontrolle erzielt werden. So wäre beispielsweise für eine 30-stündige Beobachtungsmission anstelle von zehn Helikoptern nur ein MALE-System erforderlich.

Die Vorteile der Flexibilität und Sensorik sind ebenfalls bei diesem zivilen Einsatzbereich entscheidend, da die exakte dynamische Bilderfassung in unterschiedlich topographischen Grenzgebieten für einen effektiven Grenzschutz essentiell ist. Aufgrund der angeführten Argumente ist nachvollziehbar, dass auch die *Europäische Agentur für die operative Zusammenarbeit an den Außengrenzen* (FRONTEX) den Einsatz von UAS zur Grenzüberwachung in Betracht zieht. Die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Beobachtung der Südgrenze des Schengen-Gebietes (Mittelmeerraum) ist wegen der aktuellen politischen Umwälzungen in Nordafrika besonders offensichtlich. Es bleibt festzuhalten, dass unbemannte MALE-Systeme ein sehr gutes Komplement zu den anderen Einsatzmitteln der Grenzsicherung darstellen und die Integration dieser in die bestehenden Systeme zukunftsweisend sein wird.

Die Überwachung von Groß- und Massenveranstaltungen ist ein weiteres potenzielles Einsatzfeld für UAS. In der Schweiz wurde das bereits erwähnte Aufklärungssystem *Ranger* während der Fußball-EM 2008 zur Beobachtung der Sicherheitslage in Basel, Bern und Zürich eingesetzt. Durch die direkte Übertragung der Live-Bilder an das Sicherheitsmanagement konnte ermittelt werden, in welche Richtung sich die Menschenmassen bewegten, an welchen Orten sich Personen ansammelten und wie sich die Verkehrslage im Umfeld der Spiele entwickelte.[58] In Großbritannien wird ebenfalls seit ein paar Jahren ein kleineres MUAV von der Polizei bei operativen Einsätzen verwendet. Dem Beispiel der Schweiz folgend, soll auch in Großbritannien während der Olympischen Spiele 2012 ein größeres UAS für Aufklärungszwecke und zur Sicherung der sportlichen Veranstaltung eingesetzt werden.

Wie bereits in Kapitel 3 erwähnt, werden auch in Deutschland kleinere VTOL-UAVs beim Heimatschutz angewendet. So hat die Landespolizei in Sachsen im vergangenen Jahr den Quadrokopter zur Unterstützung der inneren Sicherheit, insbesondere für die Überwachung von Großveranstaltungen wie z. B. Fußballspielen, nach einer zweijährigen Testphase gekauft. Es wird erwartet, dass der Einsatz des UAS trotz der einmalig hohen Anschaffungskosten langfristig günstiger sein wird als die Verwendung von Helikoptern.[59]

Während in Großbritannien und der Schweiz die Einsätze von kleineren MUAVs zur Unterstützung der inneren Sicherheit bereits zum Alltag gehören, stößt dieser Einsatzbereich in Deutschland auf politische und gesellschaftliche Akzeptanzprobleme, die bereits bei den Einschränkungen von UAS angesprochen wurden. Die zivile Nutzung von unbemannten Beobachtungssystemen bei Groß- und Massenveranstaltungen in Deutschland muss offen diskutiert werden, um insbesondere datenschutzrechtliche Fragestellungen zu klären. Die fortdauernde Beobachtung einer Großveranstaltung kann letztlich von den Betroffenen dann negativ aufgefasst werden, wenn die Teilnehmer annehmen müssen, dass sie unter ‚Generalverdacht' gestellt werden und der Schutz ihrer Freiheitsrechte nicht gewährleistet wird. Um aber die erforderliche gesellschaftliche und politische Akzeptanz zu erreichen, ist eine notwendige Bedingung, dass für den Bürger der zusätzliche Nutzen eines UAS-Einsatzes erkennbar ist. Es muss verdeutlicht sowie garantiert werden, dass beim Einsatz von unbemannten Luftsystemen die Erhöhung der Sicherheit und der Schutz der Bevölkerung die Einsatzziele sind und nur die hierfür notwendigen Daten erhoben und verwendet werden.

Die aufgeführten Beispiele veranschaulichen, dass UAS für die Sicherung von Groß- und Massenveranstaltungen bereits heute genutzt werden und zukünftig eine immer größere Rolle spielen könnten. Da die sehr lange Verweildauer der größeren UAS für eine solche Aufgabe nicht essentiell ist und eine Flugdauer von ca. sechs Stunden für die Beobachtung einer Massenveranstaltung ausreichend ist, werden sich die staatlichen Institutionen bei diesem zivilen Einsatzfeld vor allem auf die Verwendung von kleineren UAS konzentrieren. MUAVs könnten letztlich zu Kostenvorteilen gegenüber bemannten Flugzeugen beziehungsweise Helikoptern führen und ermöglichen eine Steigerung der Sicherheit von Großveranstaltungen.

5. Marktpotenziale im zivilen Bereich

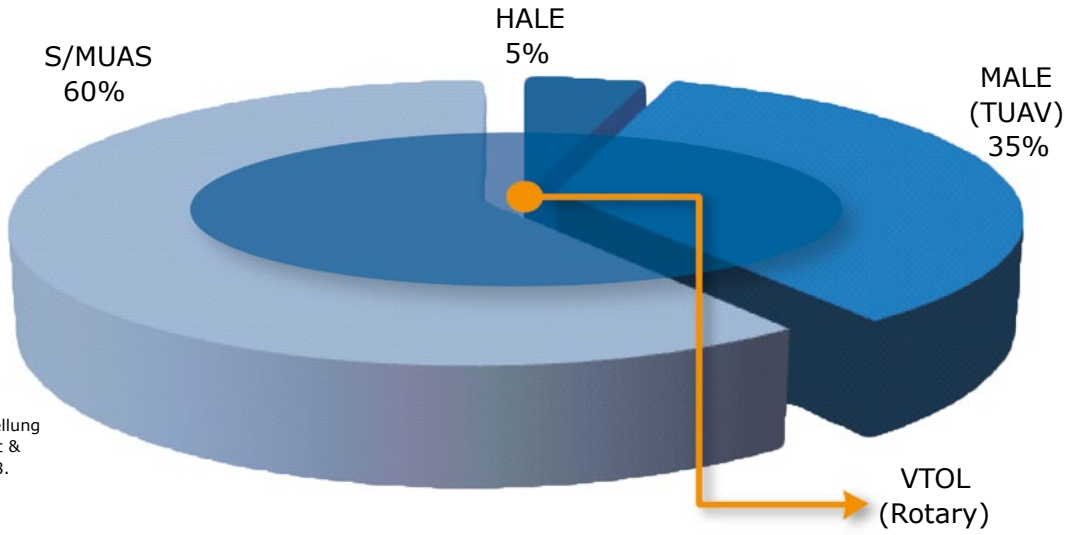
Die Analyse der ausgewählten Einsatzbereiche zeigt, dass die Verwendung von UAS für zivile Aufgaben praktiziert wird und zukunftsfähig ist. Aufgrund der vielen unterschiedlichen Eigenschaften und Ausprägungen der existierenden, unbemannten Luftsysteme sind zahlreiche Anwendungsfelder denkbar, in denen UAS im zivilen Bereich einen deutlichen Mehrwert erzeugen können. Sofern die rechtlichen Rahmenbedingungen für die Integration von UAS in den allgemeinen Luftverkehr ab 2015 geschaffen werden, wird nachvollziehbar angenommen, dass der europäische Markt für zivile UAS in kurzer Zeit mit kontinuierlichen Wachstumsraten wachsen wird.[60]

Vor dem Hintergrund des bereits in der Einleitung erwähnten starken Wachstums der Anzahl unbemannter Systeme für den zivilen Verwendungszweck, nämlich einer Steigerung des Bestandes im Zeitraum von 2005 bis 2010 um das Vierfache, können die Prognosen als realistische Einschätzung betrachtet werden. Interessant und auffällig ist dabei, dass ursprünglich für militärische Zwecke entwickelte UAS inzwischen immer häufiger zivile Aufgaben übernehmen und vor allem beim Katastrophenmanagement eingesetzt werden.

Unbemannte Aufklärungssysteme können insbesondere im Katastrophenschutz und Krisenmanagement sowie bei der wissenschaftlichen Forschung einen hohen Nutzen generieren. Die gesellschaftliche und politische Akzeptanz könnte für diese beiden Anwendungsbereiche am höchsten sein. Die Unterstützung beim Heimatschutz und der Schutz kritischer Infrastrukturen eröffnen ebenfalls unterschiedliche zivile Aufgabenfelder, die sich teilweise noch in der Testphase befinden und sich bewähren müssen. In allen vier analysierten Einsatzbereichen finden die aufgeführten UAS-Kategorien aus Kapitel 2 eine zivile Anwendungsmöglichkeit. Insgesamt wird in Europa der zivile Markt von UAS in der Anfangsphase vor allem durch staatliche Institutionen bestimmt, welche diese für den Schutz der inneren Sicherheit verwenden wollen.

Die Marktaufteilung für die unterschiedlichen UAS-Kategorien im zivilen Bereich in Europa könnte dabei wie folgt aussehen:

Abbildung 4:
Marktaufteilung der zivilen UAS-Kategorien in Europa von 2008–2017



Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Frost & Sullivan (2009), S. 28.

Die Abbildung 4 deutet darauf hin, dass vor allem kleinere, unbemannte Luftsysteme zukünftig ein starkes Marktpotenzial im zivilen Bereich aufzeigen werden. Dies spiegelt im Grunde auch die aktuelle Marktsituation von UAS in Europa wieder, denn der Markt wird derzeit zahlenmäßig deutlich von MUAVs dominiert. Mehr als ein Drittel des Marktvolumens entfällt dann zukünftig auf die Verwendung von MALE-Plattformen, die vor allem für Missionen mit einer langen Verweildauer in der Luft eingesetzt werden können. Erkennbar ist zudem, dass VTOL-UAVs mit ihren speziellen Eigenschaften ebenfalls eine wichtige Rolle spielen dürften. Und trotz der bestehenden Marktbarrieren für die zivile Nutzung von UAS ist es offensichtlich, dass die Potenziale eines zivilen UAS-Marktes deutlich größer sind als das Potenzial im militärischen Sektor.[61]
Sobald die Richtlinien und regulatorischen Fragen von den Luftfahrtbehörden für den Einsatz von unbemannten Aufklärungssystemen im zivilen Luftraum geklärt sind und damit die Markteintrittsbarrieren erheblich gesenkt werden, wird die zivile Nutzung von UAS mit hoher Wahrscheinlichkeit zunehmend an Bedeutung gewinnen. Daher und wegen des zu erwartenden technischen Fortschritts werden Investitionen in die Entwicklung von UAS zukünftig zunehmen. Ob UAS jedoch letztlich in den Luftverkehr integriert werden, hängt wesentlich von der gesellschaftlichen und politischen Akzeptanz ab. Es muss insgesamt ein Konsens gefunden werden, inwiefern die Einsatzmöglichkeiten von UAS in den jeweils möglichen zivilen Bereichen für die Gesellschaft nutzbringend und rechtlich abgesichert sind sowie ethisch gerechtfertigt werden können.

6. Weiterer Forschungsbedarf

Die Potenziale für die Nutzung von UAS für zivile Aufgaben wurden in der vorliegenden Studie eingehend untersucht. Es konnten unterschiedliche zivile Einsatzbereiche für unbemannte Aufklärungssysteme aufgezeigt und anhand der Vorteile von UAS gegenüber bestehenden Alternativen bewertet werden. Um die ökonomische sowie gesellschaftswissenschaftliche Bedeutung von UAS im zivilen Bereich besser abschätzen zu können, müssen noch folgende Forschungsfragen weiter untersucht werden:

- Für eine quantitative Aussage in Bezug auf die ökonomischen Vorteile von UAS im Vergleich zu bemannten Flugsystemen müsste eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt werden. Diese sollte auf ein konkretes ziviles Aufgabengebiet und eine bestimmte Plattformgröße der UAS beschränkt werden, um eindeutige Ergebnisse zu erzielen.

- Auch die gesellschaftliche Akzeptanz in der Bevölkerung gegenüber UAS muss intensiver betrachtet werden. Diese ist neben den rechtlichen Hindernissen ein zentrales Kriterium für die Etablierung der Verwendung von UAS für zivile Aufgaben. Es gilt herauszufinden, wie die tatsächliche Einstellung gegenüber unbemannten Fluggeräten ist und auf welchen Informationen diese basiert. Bei der Befragung muss zwischen den ‚potenziellen individuellen Anwendern' und der ‚betroffenen Bevölkerung' differenziert werden, um Informationsasymmetrien aufzudecken und politische Handlungsempfehlungen auszusprechen.

- Bislang dominieren vor allem amerikanische und israelische Systeme den stark wachsenden Markt für unbemannte Aufklärungssysteme. Europa will in Zukunft nicht nur auf bereits bestehende Plattformen zurückgreifen, sondern vor allem eigene Systeme entwickeln. Die Studie über die Nutzung von UAS für zivile Aufgaben zeigt, dass insbesondere für komplexere Systeme hohe Entwicklungskosten aufgewendet werden müssen. Es muss daher untersucht werden, welche industriepolitische Bedeutung Investitionen in neue unbemannte Plattformen haben und ob diese ökonomisch gerechtfertigt sind.

ADS-95 Ranger / Bild: © Schweizer Luftwaffe

Heron 1 der Luftwaffe / Bild: © M. Bertram, Luftwaffe

Talarion / Bild: © EADS

7. Quellen und Referenzen

7.1 Durchgeführte Gespräche

Datum	Art des Gesprächs	Gesprächspartner und Ort
20.12.2010	Informationstermin	EADS und Cassidian, Berlin
10.01.2011	Telefonat	EADS und Cassidian, Potsdam
11.02.2011	Experteninterview	Bundesanstalt THW, Referat Technik, Potsdam
18.02.2011	Informationstermin	Cassidian, Potsdam
10.05.2011	Experteninterview	Bundespolizei, Referat 61, Polizeitechnik, Materialmanagement, Potsdam
27.05.2011	Experteninterview	Cassidian, Berlin
06.07.2011	Informationstermin	Cassidian, Berlin

7.2 Abkürzungsverzeichnis

ABC	Atomar, Biologisch, Chemisch
AirShield	Airborne Remote Sensing for Hazard Inspection by Network-Enabled Lightweight Drones
ANDROMEDA	Anwendung Drohnen-basierter Luftbilder – Mosaikierung, Entzerrung und Daten-Auswertung
ATTAS	Advanced Technologies Testing Aircraft System
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CBP	U.S. Customs and Border Protection
CRS	Congressional Research Service
DFRC	Dryden Flight Research Center
DHS	Department of Homeland Security
EADS	European Aeronautic Defence and Space Company
EDA	European Defence Agency
ERAST	Environmental Research Aircraft and Sensor Technology
FRONTEX	Europäische Agentur für die operative Zusammenarbeit an den Außengrenzen
GCS	Ground Control Station
HALE	High Altitude Long Endurance
IAI	Israel Aerospace Industries
ISiS	Incident Support Imaging System
LuftVO	Luftverkehrsordnung
MALE	Medium Altitude Long Endurance
MIDCAS	Mid Air Collision Avoidance Systems
MTOW	Maximum Take-Off Weight
MUAV	Mini Unmanned Aerial Vehicle
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NEAT	North European Aerospace Test Range
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
SAR	Synthetic Aperture Radar
THW	Technisches Hilfswerk
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UVS	Unmanned Vehicle System
VTOL	Vertical Take-Off and Landing
VUSIL	Validierung von UAS zur Integration in den Luftraum
WASLA-HALE	Weitreichende Abstandsfähige Signalerfassende Luftgestütze Aufklärung- High Altitude Long Endurance
WMFS	West Midlands Fire Service

7.3 Literaturverzeichnis

Abrahamsson, M., Norberg, O., Noone, K. (2003): UAVs for Atmospheric Research in the North of Sweden, in: 16th ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research, 02.-05.06.2003, Sankt Gallen, Hrsg.: Barbara Warmbein, European Space Agency, Noordwijk, S. 533 – 536.

AirShield (2011): http://www.airshield.de/index.php, Letzter Zugriff: 28.07.2011.

ANDROMEDA (2011): http://www.andromeda-projekt.com/start.html, Letzter Zugriff: 20.06.2011.

Altenkirch, D. (2006): WASLA-HALE III, Nachweis von Technik und Verfahren für die Teilnahme von UAV`s am allgemeinen Luftverkehr, Vortrag auf dem Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt Workshop Unbemannte Flugzeuge, 31.05.2006, Manching.

Barnard, J. (2010): Remotely Piloted Aircraft in oil, gas and mineral exploration and production activities, Präsentation auf der Royal Aeronautical Society Conference "Towards commercial exploitation of Unmanned Aircraft", 11.11.2010, London.

Barnard, J. (2007): UAVs aid in exploration, production, in: Exploration & Production, 01.06.2007, http://www.epmag.com/archives/features/481.htm, Letzter Zugriff: 28.02.2011.

Behörden Spiegel – Newsletter Verteidigung, Streitkräfte und Politik (2011): Zukunftsvisionen der Luftwaffe bei den UAVs, Nr. 13, 02.03.2011, S. 4.

Blyenburgh, P. et al. (2010): 2010/2011 UAS Yearbook – UAS: The Global Perspective, 8. Aufl.

Bundesministerium der Justiz und juris GmbH: http://www.gesetze-im-internet.de/luftvo/__15a.html, Letzter Zugriff: 28.07.2011.

Coifman, B. et al. (2004): Surface Transportation Surveillance from Unmanned Aerial Vehicles, Proceedings of the 83rd Annual Meeting of the Transportation Research Board, http://www2.ceegs.ohio-state.edu/~coifman/documents/UAV_paper.pdf, Letzter Zugriff: 24.01.2011.

DeBusk, W. M. (2009): Unmanned Aerial Vehicle Systems for Disaster Relief: Tornado Alley, Georgia Institute of Technology, Atlanta.

Doherty, P., Rudol, P. (2007): A UAV Search and Rescue Scenario with Human Body Detection and Geolocalization, in: AI 2007: Advances in Artificial Intelligence, 20th Australian Joint Conference on Artificial Intelligence, Gold Coast, Australia, 02.-06.12.2007, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 4830, Hrsg.: Orgun, M. A., Thornton, J., S. 1–13.

Everaerts, J. (2009): NEWPLATFORMS – Unconventional Platforms (Unmanned Aircraft Systems) for Remote Sensing, Publikation Nr. 56 vom European Spatial Data Research, Dezember 2009, S. 57–98.

Fahey, D. W. et al. (2006): Altair Unmanned Aircraft System Achieves Demonstration Goals, in: Eos, Transactions, American Geophysical Union, Vol. 87, Nr. 20, S. 197–201.

Fischermann, T. (2009): Achillesferse der Weltwirtschaft, in: Zeit Online, 15.01.2009, http://www.zeit.de/2008/35/Pipelines-und-Terror, Letzter Zugriff: 27.07.2011.

Financial Times Deutschland (2011): Zahl der Piratenangriffe steigt drastisch, 18.01.2011, Letzter Zugriff: 27.07.2011.

Frost & Sullivan (2009): Overview of the current activities in the field of civil and commercial UAS in Europe, Präsentation auf dem 17. UAVNET Workshop, 12.10.2009, Brüssel.

Frost & Sullivan (2008): Study Analysing the Current Activities in the Field of UAV, Studie im Auftrag der Europäischen Kommission – ENTR/2007/065.

Haddal, C. C., Gertler, J. (2010): Homeland Security: Unmanned Aerial Vehicles and Border Surveillance, Congressional Research Service Report for Congress, 08.07.2010.

Hagenauer, B. (2007): Ikhana UAV Gives NASA New Science and Technology Capabilities, 29.03.2007, http://www.nasa.gov/centers/dryden/news/NewsReleases/2007/07-12.html, Letzter Zugriff: 21.02.2011.

Hausamann, D. et al. (2005): Monitoring of gas pipelines – a civil UAV application, in: Aircraft Engineering and Aerospace Technology: An International Journal, Volume 7, Nr. 5, S. 352–360.

Hermanns, A. (2010): Akzeptanz von Sensor-Drohnen bei Berufsfeuerwehren und Spezialanwendern – Empirische Befunde aus Deutschland, in: vfdb-Zeitschrift für Forschung, Technik und Management im Brandschutz, Heft 4/2010, 59. Jg., S. 196–203.

Institut für Luft- und Raumfahrt, TU Braunschweig (2011): http://www.tu-braunschweig.de/ilr/forschung/mav, Letzter Zugriff: 20.06.2011.

Johansen, A. (2011): Japan beobachtet AKW mit amerikanischen Drohnen, in: Welt Online, 21.03.2011, http://www.welt.de/wissenschaft/article12903598/Japan-beobachtet-AKW-mit-amerikanischen-Drohnen.html, Letzter Zugriff: 27.07.2011.

Johnsen, F. A. (2007): NASA Airplane Joins California Fire Battle, 24.10.2007, http://www.nasa.gov/vision/earth/lookingatearth/ikhana_so_cal_wildfires.html, Letzter Zugriff: 21.02.2011.

Lißmann, C. (2008): Die unsichtbaren Ermittler, in: Zeit Online, 16.01.2008, http://www.zeit.de/online/2008/03/unbemannte-drohnen-hooligans-sachsen?page=all, Letzter Zugriff: 02.03.2011.

Lax, M., Sutherland, B. (1996): An Extended Role for Unmanned Aerial Vehicles in the Royal Australian Air Force, Air Power Studies Centre, Paper 46, Juli 1996.

MacSween-Georg, S. L. (2003): Will the public accept UAVs for cargo and passenger transportation?, in: Aerospace Conference, Proceedings, IEEE, 08.-15.03.2003, Vol. 1, S. 357–367.

McCormack, E. D. (2008): The Use of Small Unmanned Aircraft by the Washington State Department of Transportation, Washington State Transportation Center, University of Washington, http://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/703.1.pdf, Letzter Zugriff: 11.01.2011.

Merlin, P. W. (2009): Ikhana – Unmanned Aircraft System – Western States Fire Missions, NASA, Washington, D.C., http://history.nasa.gov/monograph44.pdf, Letzter Zugriff: 26.07.2011.

MIDCAS (2011): www.midcas.org, Letzter Zugriff: 28.07.2011.

Mika, P. (2009): Emergency Service Use of UAS, in: 2009/2010 UAS Yearbook – UAS: The Global Perspective, 7. Aufl., Hrsg.: Blyenburgh & Co, S. 137–138.

Mohr, R. (2011): Zukünftige Nutzung von UAS in der Luftwaffe, in: Strategie & Technik, April 2011, S. 24–30.

Monroy, M. (2010): Drohnen: Deutsche Polizisten als Luftfahrzeugfernführer, in: Telepolis, 17.02.2010, http://www.heise.de/tp/artikel/32/32105/1.html, Letzter Zugriff: 27.07.2011.

Nonami, K. (2007): Prospect and Recent Research & Development for Civil Use Autonomous Unmanned Aircraft as UAV and MAV, in: Journal of System Design and Dynamics, Vol. 1, Nr. 2, 2007, S. 120–128.

NZZ Online (2008): Drohnen waren über 100 Stunden in der Luft, http://www.nzz.ch/nachrichten/politik/schweiz/armee_zieht_bilanz_ueber_drohnenfluege_waehrend_der_euro_08_ueber_host_cities__1.773617.html, Letzter Zugriff: 02.03.2011.

7.3 Literaturverzeichnis

Petcoff, R. P. (2010): Global Hawk collects reconnaissance data during Haiti relief efforts, U.S. Air Force, 15.01.2010, http://www.af.mil/news/story.asp?id=123185754, Letzter Zugriff: 27.07.2011.

Puri, A. (2005): A Survey of Unmanned Aerial Vehicles (UAV) for Traffic Surveillance, Department of Computer Science and Engineering, University of South Florida.

Reuder, J. (2009): UAS in atmospheric research: reality – visions – challenges, Präsentation auf dem 17. UAVNET Workshop, 12.10.2009, Brüssel.

Sagischewski, H. et al. (2010): Erfassung von Sturmschäden mithilfe von ANDROEMDA-Daten, in: AFZ-Der Wald, 21/2010, S. 6–8.

Sarris, Z. (2001): Survey of UAV applications in civil markets, Technical University of Crete, Department of Production Engineering and Management, Chania, http://med.ee.nd.edu/MED9/Papers/Aerial_vehicles/med01-164.pdf, Letzter Zugriff: 04.01.2011.

Sattler, Y., Regh, T. (2011): Unbemannte Flugsysteme im zivilen Krisenmanagement – Echte Perspektive oder technische Spielerei?, in: Bevölkerungsschutz, Heft 1, S. 32–34.

Sauser, B. (2010): "Earl" in der Tiefenanalyse, in: Technology Review, 08.09.2010, http://www.heise.de/tr/artikel/Earl-in-der-Tiefenanalyse-1074176.html, Letzter Zugriff: 14.02.2011.

Sensor Web, Web-based Geoprocessing, and Simulation Lab (2011), http://swsl.uni-muenster.de/, Letzter Zugriff: 20.06.2011.

Spiegel Online (2003), Flugzeugunglücke und ihre Ursachen, http://www.spiegel.de/sptv/themenabend/0,1518,232467,00.html, Letzter Zugriff: 27.07.2011.

UAVNET et al. (2005): 25 Nations for an Aerospace Breakthrough – European Civil Unmanned Air Vehicle Roadmap, Volume 3 – Strategic Reseach Agenda, Studie der European Civil UAV FP5 R&D Programm Mitglieder.

Waymer, J. (2009): Drones seek storm's secret – New unmanned drones promise better weather insight, in: Florida Today, 29.06.2009, http://uas.noaa.gov/news/drone-seeks-storm-secrets.html, Letzter Zugriff: 14.02.2011.

Wezeman, S. (2007): UAVs and UCAVs: Developments in the European Union, Briefing Paper for the European Parliament, http://www.sipri.org/research/armaments/transfers/publications/other_sipri_publ/20071000, Letzter Zugriff: 04.02.2011.

Williams, H. (2011): Global Observer UAV crashes during its longest flight test, in: Jane's International Defence Review, Vol. 44, Mai 2011, S. 25.

7.4 Glossar der Fußnoten

1 Vgl. Everaerts (2009), S. 68f.
2 Vgl. Nonami (2007), S. 121.
3 Vgl. Blyenburgh et al. (2010), S. 157.
4 Siehe Auflistung bei Blyenburgh et al. (2010), S. 161-193.
5 Vgl. Puri (2005), S. 3.
6 Vgl. Sarris (2001), S. 5f.
7 Siehe Bundesministerium der Justiz und juris GmbH.
8 Hierbei handelt es sich um das Erkennen durch Sensoren und die automatische Verhinderung eines Zusammenstoßes.
9 Siehe Vortrag von Altenkirch (2006).
10 Vgl. Monroy (2010).
11 Siehe MIDCAS (2011).
12 Vgl. Hermanns (2010), S. 197–199.
13 Vgl. Williams (2010), S. 25.
14 Vgl. Spiegel Online (2003).
15 Expertengespräch Cassidian am 27.05.2011.
16 Vgl. MacSween (2003), S. 363.
17 Vgl. Wezeman (2007), S. 2f.
18 Beim derzeitigen Umrechnungskurs (August 2011) sind dies ungefähr 3,1 Millionen Euro. Die Entwicklungskosten des Predators werden bei den Stückkosten an dieser Stelle nicht berücksichtigt.
19 Vgl. Haddal (2010), S. 4–5.
20 Vgl. Lax / Sutherland (1996), S. 21f.
21 Vgl. Sattler / Regh (2011), S. 32.
22 Vgl. Mohr (2011), S. 25.
23 Vgl. UAVNET et al. (2005), S. 37f.
24 Siehe UAVNET et al. (2005), S. 105ff. und Behörden Spiegel - Newsletter Verteidigung, Streitkräfte und Politik (2011), S. 4.
25 Vgl. DeBusk (2009), S. 7.
26 Vgl. Abrahamsson / Norberg / Noone (2003), S. 535.
27 Vgl. Fahey et al. (2006), S. 197.
28 Vgl. Merlin (2009), S. 10.
29 Vgl. Sauser (2010).
30 Vgl. Waymer (2009).
31 Siehe ANDROMEDA (2011).
32 Vgl. Sagischewski et al. (2010), S. 6–7.
33 Siehe Sensor Web, Web-based Geoprocessing, and Simulation Lab (2011).
34 Siehe Institut für Luft- und Raumfahrtsysteme, TU Braunschweig (2011).
35 Vgl. Hagenauer (2007).
36 Vgl. Reuder (2009), S. 22.
37 Vgl. Johnsen (2007).
38 Vgl. Mika (2009), S. 138.
39 Vgl. Petcoff (2010).
40 Vgl. Johansen (2011).
41 Vgl. Doherty / Rudol (2007).
42 Experteninterview Bundespolizei am 10.05.2011.
43 Siehe AirShield (2011).
44 Experteninterview THW am 11.02.2011.
45 Vgl. Hausamann et al. (2005), S. 353.
46 Vgl. Fischermann (2009).
47 Vgl. Hausamann et al. (2005), S. 360.
48 Vgl. Barnard (2010), S. 4.
49 Vgl. Barnard (2007).
50 Vgl. Barnard (2010), S. 30.
51 Vgl. Coifman et al. (2004), S. 3.
52 Vgl. McCormack (2008), S. 10.
53 Vgl. Puri (2005), S. 24.
54 Vgl. Financial Times Deutschland (2011).
55 Vgl. Haddal / Gertler (2010), S. 3.
56 Experteninterview Bundespolizei am 10.05.2011.
57 Vgl. Haddal / Gertler (2010), S. 4.
58 Vgl. NZZ Online (2008).
59 Vgl. Lißmann (2008).
60 Vgl. Frost & Sullivan (2009), S. 11.
61 Vgl. Frost & Sullivan (2008), S. 7.

BIGS

BRANDENBURGISCHES INSTITUT
für GESELLSCHAFT und SICHERHEIT

Das Brandenburgische Institut für Gesellschaft und Sicherheit ist ein unabhängiges, überparteiliches und nicht-gewinnorientiertes Institut in Potsdam mit der Mission, Brücken zwischen Theorie und Praxis zu bauen, um durch seinen multi- und interdisziplinären Ansatz einen Beitrag zur Stärkung der zivilen Sicherheit zu leisten.

Located in Potsdam, the Brandenburg Institute for Society and Security is an independent, non-partisan, non-profit organization with an inter- and multidisciplinary approach with a mission to close the gap between academia and practice in civil security.

www.bigs-potsdam.org