



Sachstand

Unbemannte Drohnen und Beobachtungssatelliten
Unterschiede und Gemeinsamkeiten der technologischen Leistungsprofile in
der zivilen und militärischen Anwendung



Unbemannte Drohnen und Beobachtungssatelliten

Unterschiede und Gemeinsamkeiten der technologischen Leistungsprofile in der zivilen und militärischen Anwendung

Verfasser: [REDACTED] (WD 8) – Federführung
[REDACTED] (WD 2)
[REDACTED] (WD 2)

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 007/14
WD 2 - 3000 - 016/14

Abschluss der Arbeit: 7. März 2014

Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und Forschung
WD 2: Auswärtiges, Völkerrecht, wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung, Verteidigung, Menschenrechte und humanitäre Hilfe

Telefon: [REDACTED]

Inhaltsverzeichnis

	1. Unbemannten Drohnen und Beobachtungssatelliten	5
1.1.	Definitionen	5
1.1.1.	Unbemannte fliegende Systeme	5
1.1.2.	Satelliten	7
1.2.	Allgemeine technologische Aspekte der Einsatzmöglichkeiten	8
	2. Unterschiede und Gemeinsamkeiten von unbemannten Drohnen und Beobachtungssatelliten in der zivilen Anwendung	9
2.1.	Einführung	9
2.2.	Zivile Einsatzfelder	10
2.2.1.	Fernerkundung für Umweltbeobachtungen	10
2.2.2.	Überwachung der Meere	11
2.2.3.	Überwachung der Erdoberfläche	11
2.2.4.	Transportmöglichkeit für den Versand von Paketen	11
2.2.5.	Spiel/Sportgerät	12
2.2.6.	Einsatz im Katastrophenfall und polizeilicher Einsatz	12
2.2.7.	Landwirtschaftliche Nutzung	13
2.3.	Fazit	14
2.4.	Quellen und weiterführende Literatur	15
	3. Unterschiede und Gemeinsamkeiten von unbemannten Aufklärungsdrohnen und -satelliten in der militärischen Anwendung	16
3.1.	Einführung	16
3.2.	Aufgabenfelder	16
3.2.1.	Weltweite Aufklärung	17
3.2.1.1.	SAR-Lupe	17
3.2.1.2.	HELIOS II	19
3.2.2.	Weiträumige Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes	20
3.2.2.1.	MALE-UAV	20
3.2.2.1.1.	HERON 1	20
3.2.2.2.	HALE UAV	22
3.2.2.2.1.	Global Hawk	23
3.2.3.	Aufklärung über dem Einsatzgebiet	24
3.2.3.1.	MIKADO (Mikroaufklärungsdrohne für den Ortsbereich)	25
3.2.3.2.	ALADIN (Abbildende Luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächstbereich)	26
3.2.3.3.	LUNA (Luftgestützte Unbemannte Nahaufklärungs Ausstattung)	26
3.2.3.4.	KZO (Kleinfluggerät für Zielortung)	27
3.3.	Gemeinsamkeiten und Unterschiede militärischer Aufklärungs-UAS und -satelliten im Überblick	28
3.4.	Fazit	29
3.5.	Quellen und weiterführende Literatur	30

1. Unbemannten Drohnen und Beobachtungssatelliten

1.1. Definitionen

1.1.1. Unbemannte fliegende Systeme

UAS lautet die Abkürzung für unbemannte Systeme (Unmanned Aerial System): „Bei der Kategorie der unbemannten Luftfahrtsysteme handelt es sich um unbemannte Fluggeräte, die nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben werden“ (BMVI, 2014). Weiter heißt es dort: „Dabei erfolgt die Abgrenzung zwischen unbemannten Luftfahrtsystemen und Flugmodellen¹ ausschließlich über den Zweck der Nutzung. [...] Ist mit dem Einsatz hingegen ein sonstiger, insbesondere ein gewerblicher Nutzungszweck verbunden (z. B. Bildaufnahmen mit dem Ziel des Verkaufs), so handelt es sich um ein unbemanntes Luftfahrtsystem.“ Darüber hinaus ist der Betrieb von unbemannten Luftfahrtgeräten außerhalb der Sichtweite des Steuerers oder mit einer Gesamtmasse von über 25 kg grundsätzlich verboten² (BMVI, 2014). Bund und Länder haben im Rahmen ihrer Zuständigkeit einheitliche Regelungen für die Harmonisierung des Verwaltungshandelns erarbeitet. [...] In Deutschland ist der Betrieb von unbemannten Luftfahrtsystemen erlaubnispflichtig³.

Die Größenordnungen der Drohnen reichen von wenigen Zentimetern (Mikrodrohne) bis zu mehreren Metern in der Größenordnung von Verkehrsflugzeugen.⁴

Im Gegensatz zu UAS bezieht sich die Bezeichnung UAV (Unmanned Aerial Vehicle) nur auf das Flugobjekt und nicht das gesamte System, das zusätzlich unter anderem eine Bodenkontrollstation, eine Kommunikationsinfrastruktur zum Senden, Weiterleiten und Empfang der Aufklärungsergebnisse sowie Einrichtungen zur Bild- und Videoauswertung umfassen kann. RPV (Remotely Piloted Vehicle) wird verwendet, wenn es sich um ein ferngesteuertes und nicht um ein autonomes Flugobjekt handelt. Darüberhinaus gibt es zahlreiche weitere Typen, die nach ihrer Einsatzhöhe und Einsatzdauer grob eingeordnet werden. In der Klasse Tactical-UAV (TUAV) beträgt die Einsatzhöhe bis zu 3.000 m mit einer Einsatzdauer zwischen 1 - 5 Stunden. Die Start- und Landesysteme sind in dieser Kategorie sehr unterschiedlich. Starten und Landen wie beim Flugzeug, oder als Senkrechtstarter, wie bei Hubschraubern, und Raketensysteme, die Fangnetze und Fallschirme zum Landen einsetzen, sind möglich.

Mini-UAV (MUAV) bezeichnet eine Klasse von Flugobjekten mit einer Einsatzhöhe von weniger als 1.000 m und einer auf eine Stunde begrenzten Einsatzdauer. Ihr Gewicht erreicht keine 20 kg und ihre Einsatzreichweite – maximale Entfernung zwischen Flugobjekt und Kontrollsystem, bei der die Datenübertragung noch möglich ist – beträgt 25 km. Die Begrenzungen bedingen auch, dass vergleichsweise eingeschränkt Einsatztechnik verwendet werden kann. Die mitgeführten Sensoren und Kameras können nicht stabilisiert werden und liefern schlechtere Aufnahmen.

¹ im Sinne von § 1 Absatz 2 Nummer 9 Luftverkehrsgesetz (LuftVG)

² gemäß § 15a Absatz 3 LuftVO

³ gemäß § 16 Absatz 1 Nummer 7 Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO)

⁴ Vgl. Joint Air Power Competence Center (2010): Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO, S. 9, http://www.japcc.de/nato_flightplan_uas.html (letzter Zugriff: 27.02.2014).

Sie eignen sich daher eher für Standbilder, wie sie in der urbanen Aufklärung oder für Statusaufnahmen von bewirtschafteten Äckern verwendet werden.

Die Micro-UAV (MAV) sind noch einmal eine Stufe kleiner und erreichen ein Gewicht von maximal 2 kg, das zu einer starken Windabhängigkeit führt, und erreichen eine Fluggeschwindigkeit von ca. 30 km/h. Ihre Einsatzgebiete liegen vorwiegend in der Gebäudeaufklärung oder Personenüberwachung.

Weitere Typenkategorien wie UGV, UUV, USV für den bodennahen Einsatz oder Unterwasserfahrzeuge, werden hier nicht näher betrachtet⁵. Drohnen mit größeren Flughöhen, Reichweiten und Abmessungen wie MALE – UAV und HALE – UAV (medium/high altitude long endurance) werden im zweiten Teil (Kapitel 2.2.2) beschrieben.

Darüber hinaus liefern die Vorschriften der Luftverkehrsordnung weitere Kategorisierungskriterien. In Deutschland sind seit 2012 unbemannte Flugzeuge in das Luftverkehrsgesetz aufgenommen worden. Mit Hilfe des unbemannten Luftfahrtsystems darf nicht in den Bereich der privaten Lebensgestaltung Dritter eingedrungen werden, und der Steuerer muss beim Einsatz darauf achten, dass beispielsweise datenschutzrechtliche Bestimmungen, Urheberrechte, Persönlichkeitsrechte nicht verletzt werden. Die zentralen Grundregeln beim Betrieb der unbemannten Luftfahrtsystemen sehen vor, dass der Betrieb in Sichtweite des Steuerers erfolgt, die maximale Flughöhe von 100 m über Grund nicht überschritten wird und kein Betrieb über Menschen und Menschenansammlungen stattfindet. Weitere Nebenbestimmungen und Regelungen zum Notfallverfahren sind in der Luftverkehrsordnung (LuftVO) beschrieben.

Drohnen, die sich im hoheitlichen Luftraum bewegen sollen, dürfen ein Fluggewicht von maximal 25 Kilogramm⁶ nicht überschreiten und nicht über 100 m hoch fliegen⁷. Dies begrenzt auch die Nutzlasten für z.B. Kameras, Datenerfassungstechnik und Energiesysteme.

UAVs bzw. Drohnen fallen unter den Begriff „Schwerer-als-Luft“-Technologie (SaL). Die „Leichter-als-Luft“ (LaL) – Technologien, wie Fesselballone oder Luftschiffe, die neben ihren Anwendungsmöglichkeiten beim (Personen-)Transport oder in der Werbung auch für Umweltmonitoring, Fischereizonenüberwachung oder die Sensorerprobung im Forschungs- und Entwicklungsstadium eingesetzt werden, sollen hier nicht betrachtet werden.⁸

Der Begriff „Drohne“ wird für ein unbemanntes Flugobjekt synonym und umgangssprachlich verwendet, bezeichnet jedoch im engeren Sinn ein unbewaffnetes Übungsziel (Person, Gebäude, Fläche). Die Firma Aibotix nennt beispielsweise ihre für den zivilen Einsatz entwickelten Drohnen „Kopter“. Als „Defikopter“ wird eine Drohne bezeichnet, die zukünftig, nach der

⁵ s.a. TAB-Arbeitsbericht Nr. 144, S. 276.

⁶ Luftverkehrszulassungsordnung LuftVZO §1

⁷ Die Zeit N°2: „Im Drohnenfieber“, 2. Januar 2014.

⁸ Auch unbemannte Stratosphärenluftschiffe, deren Einsatz für künftige militärische Aufklärungszwecke denkbar erscheint, werden im Rahmen dieses Sachstands nicht betrachtet, da die Entwicklung solcher LaL-Systeme noch am Anfang steht und zu ihrer Leistungsfähigkeit keine verlässlichen Daten zur Verfügung stehen.

Aktivierung einer entsprechenden App für Mobiltelefone, über GPS gesteuert werden und automatisch einen Defibrillator am Einsatzort landen oder abwerfen soll.

Bei der Wahl der Einsatztechnik muss ein wichtiger organisatorischer Aspekt berücksichtigt werden. Flugobjekte können nur den zum staatlichen Hoheitsgebiet gehörenden Luftraum, satellitenbasierte Fernerkundung kann dagegen den gesamten hoheitsfreien Weltraum nutzen. Die geltenden völkerrechtlichen Regelungen zur Nutzung des Weltraums wurden im Rahmen der Entwicklung des Weltraumvertrages 1967 festgelegt. Danach sollen die wirtschaftliche Nutzung und auch die Forschung im Interesse aller Länder ausschließlich zu friedlichen Zwecken erfolgen. Satellitengestützte Erdfernerkundung kann zum einen zivilen (z.B. Umweltbeobachtung) und zum anderen militärischen Charakter (z.B. Aufklärung, s. Kapitel 2) haben. Der im Jahr 1986 verabschiedete Prinzipienkatalog zur Fernerkundung aus dem Weltraum billigt Erdfernerkundung fast uneingeschränkt, hat jedoch nur empfehlenden Charakter.⁹¹⁰

Satelliteneigentümer sind gleichzeitig die Eigentümer der gesammelten Daten und besitzen auch Urheberrechte. Mit zunehmender Auflösungsqualität der Daten machen jedoch die Länder zum Schutz der Sicherheit nationale Hoheitsansprüche geltend.

In den USA wird beispielsweise „die US-Flugaufsichtsbehörde FAA (Federal Aviation Administration) künftig an sechs Standorten innerhalb der USA verschiedene Aspekte des Drohnenflugs erforschen. Dabei sollen neben klimatischen und geografischen Bedingungen auch Sicherheitsaspekte und die Abstimmung mit dem allgemeinen Flugverkehr untersucht werden. Auf diese Weise will die FAA ihr Ziel voranbringen, unbemannte Drohnen in den Luftverkehr zu integrieren.“¹¹

1.1.2. Satelliten

Erdfernerkundungssatelliten beobachten Objekte aus sehr großer Distanz mit unterschiedlichen Nutzungsanwendungen und unter Verwendung unterschiedlicher Messsysteme. Die eingesetzten unterschiedlichen Sensoren können Spektralbereiche messen, die mindestens teilweise eine atmosphärische Durchlässigkeit besitzen. Diesen Bereich nennt man auch atmosphärisches Fenster. Die einzelnen Segmente der Spektralbereiche werden auch als Bänder bezeichnet. Bei der Aufzeichnung einzelner Bänder spricht man auch von Kanälen.

Die Satellitensysteme messen die von der Erde (bzw. Erdoberfläche, obere Schichten des Erdbodens, der Meere und der Atmosphäre) reflektierte elektromagnetische Strahlung (z.B. sichtbares Licht, Infrarot und Mikrowelle). Informationen, die aufgenommen werden, müssen nach der Datenübermittlung, je nach Einsatzfeld und zu beobachtender Fragestellung mit speziell entwickelten Programmen, ausgewertet und interpretiert werden.

⁹ Öffnung des zivilen Luftraums ist für 2016 geplant. „Forschungsprojekte der Bundesregierung und der Europäischen Union zur Entwicklung und Integration von Drohnen“ ([Drs 17/14652](#)).

¹⁰ Bundesregierung 2013 „Integration von schweren Drohnen in den allgemeinen zivilen Luftraum“ ([Drs 17/12136](#)).

¹¹ Költsch, T.: „[FAA testet Alltagstauglichkeit von Drohnen](#)“ golem.de vom 31. Dezember 2013.

Es gibt sowohl Satelliten, die über Jahrzehnte kontinuierlich Daten erfassen (z.B. Landsat), als auch komplexe Satelliten, die unterschiedliche Sensoren mitführen sowie kleinere, kostengünstigere Satelliten, die zu Systemen zusammengesetzt werden können. Je nach Einsatzgebiet und den zu untersuchenden Objekten (z.B. Wetter oder landwirtschaftliche Felder) ist auch die mitgeführte Sensortechnik unterschiedlich. Es gibt auch eine zeitliche Unterscheidung. Als operationell werden Satellitensysteme bezeichnet, die stetig Daten erfassen und senden und deren Daten allgemein zugänglich sind (z.B. GPS).

Der Vorteil satellitengestützter Aufnahme von Erderkundungsdaten gegenüber Vor-Ort- oder flugobjektgetragenen Systemen liegt in der Größe des Einsatzgebietes und der Möglichkeit, auch besonders schwer zugängliche und unzugängliche Gegenden zu erfassen. Die Flughöhen und Flugrouten entscheiden über die räumliche Auflösung, Wiederholungsmessungen und Kontinuität der Daten. Kontinuierliche Messungen, die auch über einen langen Zeitraum durchgeführt werden, dienen zu Dokumentationszwecken und Langzeitmessungen.

Der Unterschied zu den Flugobjekten/Drohnen besteht im wesentlichen darin, dass die Flugobjekte einen kürzeren Abstand zum Objekt haben und damit eine höhere Auflösung erreichen können, die zu vermessende Fläche geringer ist, und die Daten zum Teil zwischengespeichert werden können und nicht unbedingt eine Datenübertragung während der Einsatzzeit erfolgen muss. Satelliten können eine größere Fläche, über einen deutlich längeren Zeitraum bei notwendiger Datenübertragung an die Bodenstation, und je nach Einsatztechnik geringerer Auflösung, detektieren.

Die Aktivitäten zur Entwicklung von Satelliten für Umweltforschung werden auf europäischer Ebene über zwischenstaatliche Organisationen wie z.B. die europäische Weltraumorganisation ESA, die überwiegend zivile Projekte unterstützt, und EUMETSAT, der Organisation zur Nutzung meteorologischer Satelliten, deren Satelliten insbesondere für Wetter- und Klimabeobachtungen eingesetzt werden, koordiniert. Copernicus, ehemals GMES, ist das europäische Geoinformationssystem, das ein Überwachungs- und Frühwarnsystem bilden kann und als Umweltbeobachtungsprogramm von EU und ESA eingesetzt wird. Komponenten dieses Systems sind TerraSAR-X (Deutschland), Emergency ERCS, Security SEC und G-MOSAIC.

1.2. Allgemeine technologische Aspekte der Einsatzmöglichkeiten

Die für die Erdfernerkundung verwendeten Spektralbereiche des elektromagnetischen Spektrums liegen im wesentlichen im optischen (UV-Strahlung, sichtbares Licht und IR-Strahlung) und im Mikrowellenbereich (Radarverfahren). Dabei werden zum einen die von natürlichen Quellen, wie z.B. der Sonne, ausgehenden Strahlen, die von der Erdoberfläche und ihren Objekten reflektiert oder aber emittiert werden (thermische Strahlen), detektiert und zum anderen Sendesysteme, die elektromagnetische Strahlung zur Erdoberfläche senden und deren Reflexion messen, verwendet.

Optische Systeme sind von den Tag- und Nachtzeiten abhängig. Systeme, die die reflektierten Sonnenstrahlen detektieren, können nur auf der sonnenzugewandten Seite operieren. Eine dichte Wolkendecke ist dabei störend. Die thermischen Signale dagegen werden bei Nacht aufgenommen, wenn keine Tageslichteinstrahlung die Messungen überlagert.

Radarsysteme gelten als aktive Systeme und sind unabhängig von Tages- und Nachtzeiten. Da Mikrowellen eingesetzt werden, kann bei diesem Verfahren auch die Wolkendecke durchdrungen und, je nach Qualität der eingesetzten Technik, auch eine Wetterunabhängigkeit erreicht werden. Ein höheres Auflösungsvermögen als Radarsysteme erreichen Lidarverfahren (Laserstrahlen), die aber als optische Verfahren auf gute Wetterlagen und bodennahen Einsatz begrenzt sind. Der Radarinterferometrie (zwei Radarbilder zweier Positionen, die überlagert werden) bedient man sich, wenn z.B. Höhenmodelle des zu untersuchenden Gebiets benötigt werden. Das Lidarverfahren dient insbesondere zur Entfernungsmessung und Positionsbestimmung von Satelliten.

Beim Satelliteneinsatz kommt im Vergleich zu unbemannten Systemen bei der Messung die Absorption der Atmosphäre noch hinzu, die gleichzeitig auch Gegenstand der Untersuchungen, wie z.B. bei Wetter- und Klimabeobachtungen sein kann. Die Vermessung der einzelnen Schichten kann je nach Fall auch den Einsatz eines Wetterballons begünstigen.

Neben den Reflexionseigenschaften der zu beobachtenden Objekte und Oberflächen, Rückstrahlereffekten, Interferenzen und der Sensibilität der verwendeten Sensoren spielen auch die Flughöhen und Flugrouten, die zeitliche Auflösung und Wiederholungsraten und letztendlich die stetig weiterzuentwickelnden Auswerteverfahren eine Rolle.

Eine Unterscheidung zwischen den zu verwendenden Trägerplattformen kann in einem ersten Schritt über die Einsatzhöhe erfolgen. Unbemannte Systeme, die sich im hoheitlichen Luftraum bewegen, werden bis zu einer Höhe von maximal 20 km eingesetzt. Sie fliegen zwar innerhalb der Atmosphärenschicht, aber mit einer bei dieser Höhe bedingten begrenzten Absorption und Reflexion der zu messenden Strahlung. Satelliten, die sich im hoheitsfreien Weltraum bewegen, werden oberhalb der Atmosphäre, ab ca. 200 km, und bei voller Wirkung auf die Strahlungsbeflussung eingesetzt.

Die verwendeten Datenaufnahmeverfahren sind für unbemannte Systeme und Satelliten grundsätzlich identisch. Unterschiede liegen im Abstand des Sensors zum Objekt, der Möglichkeiten zur Datenübertragung (Zwischenspeicherung, Übertragung) oder in der gewichtsbedingt begrenzten Mitnahmemöglichkeit der einzelnen Trägerplattformen.

2. Unterschiede und Gemeinsamkeiten von unbemannten Drohnen und Beobachtungssatelliten in der zivilen Anwendung

2.1. Einführung

Unbemannte Luftfahrzeuge, auch als Drohnen bezeichnet, werden im hoheitlichen Luftraum eingesetzt, Satelliten dagegen sind unbemannte Systeme, die als Weltraumfahrzeuge bezeichnet werden und im hoheitsfreien Weltraum zum Einsatz kommen. Die zivilen technischen Einsatzmöglichkeiten und Einsatzfelder dieser beiden Systemklassen sollen im ersten Teil näher betrachtet werden.

2.2. Zivile Einsatzfelder

In der Umweltforschung, zur Optimierung der Landwirtschaft, für Verkehrsüberwachungen oder den Einsatz im Katastrophenfall können, je nach Rahmenbedingungen, unbemannte Systeme und/oder Satelliten zum Einsatz kommen.

Das populärste Beispiel für den Einsatz von Satelliten ist die ursprünglich militärische Anwendung des Global Positioning Systems (GPS), das in den letzten Jahrzehnten immer mehr fester Bestandteil des zivilen Lebens geworden ist. Das europäische Projekt „Galileo“, das als sichere Alternative zum US-amerikanischen GPS entwickelt wurde, bildet die Basis für die weltweite Satellitennavigation. Die Weiterentwicklung EGNOS, ein Netzwerk von 34 europäischen Bodenstationen mit hochpräzisen Positionsdaten und drei geostationären Satelliten, das die Erhöhung der räumlichen Auflösung von GPS durch Fehlerkorrektur zur Aufgabe hat, verbessert die horizontale Auflösung von 20 auf ca. 2 m innerhalb Europas und soll den Einsatz der Satellitennavigation im Bereich der Avionik¹² und der maritimen Navigation erhöhen, für die das GPS bisher zu ungenau war.

In den folgenden Kapiteln wird eine exemplarische Auswahl von unbemannten Flugsystemen und Satelliten für den bisherigen und zukünftigen zivilen Einsatz beschrieben.

2.2.1. Fernerkundung für Umweltbeobachtungen

Unter den Begriff Erdfernerkundung fallen Aufgabenfelder wie die Überwachung der Atmosphäre und Untersuchungen zur Wolkenbildung, Beobachtungen von Vulkanausbrüchen und deren Aschewolken oder Untersuchungen zur Schnee- und Eisbedeckung, die aufgrund ihrer flächenhaften Erfassung der Daten vorwiegend satellitengestützte Methoden einsetzen.

Global Hawk-UAS ist ein Beispielprojekt zur Atmosphärenforschung (von NASA und National Oceanic and Atmospheric Administration), bei dem das eingesetzte, ursprünglich militärische Flugobjekt, zusätzliche Sensoren für wissenschaftliche Untersuchungen mitführt.

Für die Aufnahme von Daten für die Karto- und Geographie zur 2D- und 3D-Vermessung können neben der flächenhaften Erfassung mittels Satelliten zur Erlangung einer höher auflösenden lokalen Messung auch unbemannte Systeme eingesetzt werden.

Die Daten des Satelliten METEOSAT werden zum Beispiel für die Berechnung von Niederschlagskarten für Zeitintervalle größer als ein Tag und bis in den regionalen Maßstab verwendet.¹³

¹² Avionik = Das [Avioniksystem](#) ist das Herzstück eines Raumfahrtsystems. Alle Steuerungsaufgaben, jegliche Verarbeitung von Missionsdaten und die gesamte Kommunikation werden durch das Avioniksystem realisiert.

¹³ Backhaus/Grunwald (Hrsg.) 1995: „Umwelt und Fernerkundung: was leisten integrierte Geo-Daten für die Entwicklung und Umsetzung von Umweltstrategien?“, Wichmann, Heidelberg, S. 70.

2.2.2. Überwachung der Meere

Die Seeüberwachung dient als operative Methode und für Forschungszwecke. Sie unterstützt die Überwachung des Schiffsverkehrs mit Hilfe von Satellitentechnik (z.B. [AiS](#), Automatic Identification System) und betreibt Umweltmonitoring, wie Beobachtungen zur Verschmutzung der Meere durch z.B. Ölteppiche oder Verklappung und zu Bewegungen und Bildung von Eisschollen und Eisbergen, marinen Phytoplanktonverteilungen¹⁴ oder Messungen zu Temperatur und Strömungsverhalten der Meere. Insbesondere bei den Messungen zur Phytoplanktonverteilung wird deutlich, dass zum einen örtlich begrenzte Bereiche, wie die Zuflüsse und Eintragsgebiete, Gegenstand der Untersuchungen sein können. Zum anderen soll auch die Verteilung über eine größere räumliche Ausdehnung, z.B. über den gesamten Atlantik hinweg, aufgenommen und ausgewertet werden. Die zeitliche Auflösung dieser Beobachtungen kann gleichfalls variieren und z.B. Stunden oder über einen längeren Zeitraum, z.B. mehrere Monate, andauern. Für die lokal begrenzten und kürzeren Untersuchungen ist ein Einsatz mit unbemannten Flugobjekten denkbar, für die globalen Untersuchungen, die über einen längeren Zeitraum andauern, scheinen Satelliten geeigneter.

Nicht jedes Schiff sendet ein AIS-Signal. Das Schiff „Gojira“ der „Ökoterroren“ „Sea Shepard Conservation Society“ (amerikanische Umweltschutzorganisation) benutzte Wetterballone, die mit Kameras und Radarerkennung ausgestattet waren, um japanische Walfangflotten zu lokalisieren.¹⁵

2.2.3. Überwachung der Erdoberfläche

Für die Detektion von Veränderungen in großen und in kleineren Arealen von Vegetation, Infrastruktur, Naturkatastrophen, wie Waldbränden, Erdbeben (z.B. Schäden des Tohoku Erdbebens bzw. Tsunamis in Japan 2011) werden je nach Größe des Gebietes, dessen Zugänglichkeit und der benötigten Auflösung der Sensoren unterschiedliche Systeme eingesetzt. Als Frühwarnindikator für Missernten oder zur Schädlingsbekämpfung könnten Satellitenaufnahmen oder aber unbemannte Flugsysteme eingesetzt werden. Die Untersuchungen zur Strahlenmessung der Reaktorgebäude nach der Fukushima Katastrophe 2011 in Daiichi wurden mit Hilfe des unbemannten, knapp 8 Kilogramm schweren „T-Hawk“-Systems durchgeführt. Bei diesem Einsatz ist es zu einer Notlandung auf dem Reaktorgebäude gekommen. Schaden am Gebäude entstand nicht.¹⁶

2.2.4. Transportmöglichkeit für den Versand von Paketen

„Drohnen könnten künftig auch eine stärkere Rolle im Alltag spielen. Sowohl [Amazon](#) als auch die [Deutsche Post](#) haben Pläne, eine Auslieferung von Paketen mit Hilfe unbemannter Drohnen

¹⁴ Ebenda, S. 93.

¹⁵ „Sea Shepard Conservation Society“.

¹⁶ <http://www.sueddeutsche.de/wissen/2.220/japan-atomruine-fukushima-drohne-muss-auf-reaktor-notlanden-1.1111990>.

zu erforschen. Eine Post-Drohne hat bereits testweise eine Sendung mit Medikamenten ausgeliefert.“ Allein die Auflage, dass der Steuerer zu jeder Zeit Blickkontakt mit dem Flugobjekt halten muss, macht einen automatischen Kurierservice derzeit unmöglich. Die juristischen Grenzen sind aber für den Fall geringer, wenn die Drohne das Gewicht von 5 kg nicht überschreitet und so unter die Kategorie „Modellbau“ fällt.¹⁷ Für das Versenden der allgemeinen Postzustellungen scheint aufgrund der Menge ein Einsatz nur von Drohnen auch zukünftig wenig umsetzbar zu sein. Als Spezialfall, z.B. für das Versenden von Medikamenten in schlecht zugänglichen Regionen, könnten Drohnen ein neues Anwendungsfeld erschließen.

2.2.5. Spiel/Sportgerät

Nicht nur für die Überwachungen von Sportveranstaltungen, sondern auch für Einsatz als Spiel- und Sportgerät werden Drohnen verwendet, die das Bastelstadium hinter sich gelassen haben, aber aufgrund ihrer maximalen Größe noch im Zuständigkeitsbereich der „Hobbyfliegerei“ liegen.¹⁸

2.2.6. Einsatz im Katastrophenfall und polizeilicher Einsatz

Zur Unterstützung der Einsatzkräfte wie Feuerwehr und THW bei der Suche nach Gas im Brandfall sollen zukünftig Aufklärungsdrohnen eingesetzt werden. Die bisher verwendeten Handmessgeräte, über die die Feuerwehr im Ernstfall verfügt, können zwar Messungen in Bodennähe durchführen, jedoch nicht die Gaskonzentration der Rauchwolke messen. Diese Schadstoffmessungen werden zur Warnung der Bevölkerung verwendet und sollen mittels Drohnen aufgenommen werden. Dieses Einsatzfeld ist auch Forschungsgegenstand des Projekts „Airshield“¹⁹ des BMBF und der TU Dortmund, Lehrstuhl für Kommunikationsnetze²⁰. Auch zur Begutachtung von Schäden, die durch Sturm, Brand oder Wasser auf z.B. Haus- und Gebäudedächern entstanden sind, sollen Drohnen eingesetzt werden.

Ein weiteres Beispiel für den Einsatz von Drohnen im Katastrophenfall ist die Suche nach Vermissten in zerstörten Gebäuden oder auf gefährlichem Gelände nach einem Erdbeben. Auch die Unterstützung von Rettungseinsätzen für verunglückte Personen, bei denen unbemannte Systeme, die mit einer Infrarotkamera ausgerüstet sind, das Wärmebild des Verletzten ausmachen

¹⁷ Költsch, T.: „[FAA testet Alltagstauglichkeit von Drohnen](#)“ golem.de vom 31. Dezember 2013.

¹⁸ <http://www.arte.tv/de/games-of-drones/7771736.CmC=7770024.html>.

¹⁹ [AirShield](#): (Airborne Remote Sensing for Hazard Inspection by Network-Enabled Lightweight Drones) ist ein BMBF-Forschungsprojekt auf dem Gebiet der zivilen Sicherheitsforschung zum Schutz kritischer Infrastrukturen und der Bürgerinnen und Bürger. Das Projekt ist Teil des Programms "Forschung für die zivile Sicherheit" im Bereich "Integrierte Schutzsysteme für Rettungs- und Sicherheitskräfte". AirShield setzt (teil-) autonome, mobile Flugroboter mit leichtgewichtiger Sensorik zur Erkundung sowie Gefahrenprognose und -abwehr ein. Diese erheben Sensordaten über eine Schadenlage, welche den Endanwendern „Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS)“ entscheidungsunterstützende Informationen in Form von visualisierten bzw. räumlichen Lagedarstellungen liefern.

²⁰ <http://www.gasmessung.de/de/presse/presse-informationen/drohnen-im-einsatz/>.

können, sodass mit den ausgewerteten Daten dessen Ort festgestellt werden kann, ist ein Beispiel für die zivile Nutzung dieser Systeme.

Die Firma Lakeside Labs GmbH (Klagenfurt) ist seit 2008 mit der Entwicklung eines selbstorganisierten Mikrodrohnsystems für das Katastrophenmanagement befasst²¹ und nennt als wichtigstes Anwendungsbeispiel seiner „Collaborative Area Robots“ das Erstellen aktueller Luftaufnahmen von Einsatzgebieten zur Unterstützung von Rettungskräften im Katastrophenfall, verbunden mit der Lieferung der Aufzeichnungen in Echtzeit an die Bodenstation²². Die Systeme sind derzeit in der Testphase.

Auch erste Versuche mit Helikopter – Drohnen für den polizeilichen Einsatz wurden durchgeführt.²³ Italien hat im vergangenen Jahr die Drohne „Reaper“, die auf Sicht fliegen kann oder mittels Satellitennavigation gesteuert wird, zur Migrationskontrolle über dem Meer eingesetzt²⁴. Reaper ist mit „Synthetic Aperture Radar“-Technik (s.a. Kapitel 2.2.1.1.) ausgestattet, das auch nachts hochauflösende Aufnahmen erlaubt. Gleichzeitig überwacht ein Internetprojekt des Netzwerks „Watch the Med“²⁵ die Sicherheit der Migranten. Mit Hilfe einer interaktiven Karte und gesammelter geografischer Daten werden die Einsätze von EU-Grenzpatrouillen oder nationalen Küstenwachen dokumentiert²⁶.

2.2.7. Landwirtschaftliche Nutzung

Insbesondere dort, wo die zu detektierende Fläche begrenzt ist, lässt sich aus Aufnahmen, die mit Hilfe von Drohnen erhalten wurden, analysieren, ob beispielsweise landwirtschaftlich genutzte Felder bewässert oder gedüngt werden müssen.

Weitere Anwendungsfelder sind z.B. Untersuchungen zur gegenseitigen Beeinflussung von Landwirtschaft und Umwelt, der landwirtschaftliche Wirkungsgrad als Maß für Nachhaltigkeit, Niederschlagsmessungen, Renaturierung von Einzugsgebieten oder die Rekonstruktion der potentiellen Waldverbreitung.

Bei der Aufnahme von Verteilungsmustern der terrestrischen Vegetation, der Wechselwirkung der Vegetation mit anderen Faktoren des Klimasystems wie Atmosphäre, Kryosphäre, Ozean, Süßwasser-Hydrosphäre und Geosphäre hängt der Einsatz von Drohnen, Satelliten oder auch Fesselballonen auch davon ab, welche Schicht(en) Gegenstand der Untersuchungen sind²⁷.

²¹ <http://www.lakeside-labs.com/research/collaborative-aerial-robots/>.

²² http://www.lakeside-labs.com/uploads/media/Collaborative_Aerial_Robots_02.pdf.

²³ Polizeilicher Einsatz „Polizeiliche Drohnen-Strategie: Abfluggewicht über 25 Kilogramm“ (Drs [17/13646](#)).

²⁴ <http://www.heise.de/tp/news/Italien-fliegt-Sensenmann-gegen-Migranten-und-die-Mafia-2018132.html>.

²⁵ <http://watchthemed.net/>.

²⁶ <http://www.heise.de/tp/news/Italien-fliegt-Sensenmann-gegen-Migranten-und-die-Mafia-2018132.html>.

²⁷ <http://bildungsserver.hamburg.de/natuerliche-oekosysteme-nav/2213148/vegetation-klimasystem.html>.

Der Einsatz von Drohnen in der Robotik als „Bienenersatz in der Bestäubung“ steckt noch im Anfangsstadium. Anforderungen wie die Entwicklung eines extrem leichten Fluggerätes, verbunden mit dem Einsatz als Gemeinschaftsaufgabe, als Schwarm, sind noch nicht gelöst. Die bisherigen Prototypen erreichen, auch mit der unbedingt notwendigen Technik ausgestattet, eine Flugdauer von 10 s und sind noch weit entfernt von einem bestimmungsgemäßen Einsatz²⁸.

Auch die Schwarmtechnik, die auch für den Einsatz größerer Drohnen denkbar ist, beispielsweise bei der gleichzeitigen Bearbeitung größerer Flächen, ist noch nicht zufriedenstellend gelöst. Die verwendeten Algorithmen müssten drei grundlegende Vorschriften erfüllen. Dies sind die Separation, die den Mindestabstand zu den Nachbar-Drohnen einhält (Kollisionsvermeidung), die Kohäsion, die sicherstellen soll, dass dabei jede Drohne im Zentrum ihrer lokalen Nachbarschaften bleibt und das Alignment, bei dem jede Drohne ihre Richtung und Geschwindigkeit mit der ihrer Nachbarn abstimmt. Satelliten dagegen bleiben längere Zeit konstant auf ihrer vorgegebenen Umlaufbahn.

2.3. Fazit

Bei der Wahl der Einsatztechnik sollte ein wichtiger organisatorischer Aspekt berücksichtigt werden. Flugobjekte können nur den zum staatlichen Hoheitsgebiet gehörenden Luftraum, satellitenbasierte Fernerkundung kann dagegen den gesamten hoheitsfreien Weltraum nutzen.

Der Unterschied zu den Flugobjekten/Drohnen besteht im wesentlichen darin, dass die Flugobjekte einen kürzeren Abstand zum Objekt haben und damit, je nach Einsatztechnik, eine höhere Auflösung erreichen können. Die physikalischen und technischen Rahmenbedingungen der Sensortechnik sind bei beiden Systemen ähnlich.

Das zu vermessende Gebiet ist beim Flugobjekteinsatz meist geringer als bei der globalen und kontinuierlichen Langzeitbeobachtung der Satellitensysteme. Flugobjekte können auch zur Beobachtung innerhalb von Gebäuden eingesetzt werden. Satelliten können in der Regel einen deutlich längeren Zeitraum beobachten, Drohnen auch kurzfristig eingesetzt werden.

Die aufgenommenen Daten können bei unbemannten Systemen zwischengespeichert werden, während bei Satellitensystemen eine Datenübertragung während der Einsatzzeit erfolgen muss.

Eine Dual-Use-Technologie, die für militärische *und* zivile Zwecke eingesetzt werden kann, ist die aus dem Alltag nicht mehr wegzudenkende Satellitennavigation, die ursprünglich militärisch inspiriert war.

Die zukünftigen, vielfältigen und komplexen Einsatzmöglichkeiten unbemannter Systeme haben in den letzten Jahren immer mehr an forschungs-, industrie-, innovations- und sicherheitspolitischer Bedeutung gewonnen.

²⁸ Wood, Nagpal, Wei [2013]: „Künstliche Bienen“, Spektrum der Wissenschaft 07/13 S. 88.

2.4. Quellen und weiterführende Literatur

- 1) Antwort: Anstehende Entscheidung zur "europäischen Drohne" auf dem EU-Gipfel im Dezember 2013 ([Drs 18/213](#))
- 2) Backhaus/Grunwald (Hrsg) [1995]: „Umwelt und Fernerkundung: Was leisten integrierte Geo-Daten für die Entwicklung und Umsetzung von Umweltstrategien?“, Wichmann, Heidelberg
- 3) Barth [1997]: „Weltraumtechnik für die Umwelt“: Umweltsatelliten, Weltraumenergie, Katastrophenschutz, Klima und Wetter, Marsökologie, künstliche Sonnen, soziale Umwelt, Bechtle Verlag, München
- 4) BMVi (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) [2014]: „[Kurzinformation über die Nutzung von unbemannten Luftfahrtsystemen](#)“
- 5) Burroughs [1993]: „Die Wettermaschine“, Birkhäuser Verlag, Basel
- 6) Coenen, Reinhard [2011] „Systemforschung - Politikberatung und öffentliche Aufklärung: Beiträge von und im Umfeld von Helmut Krauch und der Studiengruppe Systemforschung“, Kassel Univ. Press
- 7) Deutscher Bundestag, ID1 „[Drohnen im Kampfeinsatz](#)“ Literaturlauswahl 2007 – 2013
- 8) Endbericht [Nr. 144](#) zum TA – Projekt „Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme“, 2011 (Drs [17/6904](#))
- 9) Endbericht [Nr. 154](#) zum TA-Projekt „Fernerkundung: Anwendungspotenziale in Afrika“, 2012 ([Drs 18/581](#))
- 10) Europäische Strategie: „Towards a European strategy for the development of civil applications of Remotely Piloted Aircraft Systems“ [SWD\(2012\)259](#)
- 11) Frisch, Thomas, [2010] Aktueller Begriff „[System Unbemanntes Luftfahrzeug: Wesentliche gegenwärtige und zukünftige Aspekte](#)“
- 12) Kleine Anfrage „Weitere Drohnen-Flüge in Bayern“ ([Drs 18/389](#))
- 13) Kleine Anfrage: Anstehende Entscheidung zur „europäischen Drohne“ auf dem EU-Gipfel im Dezember 2013 ([Drs 18/124](#))
- 14) Kommission der Europäischen Gemeinschaften [2005]: „Globale Überwachung von Umwelt und Sicherheit (GMES): Vom Konzept zur Wirklichkeit“ (SEC (2005) 1432)
- 15) SWP – Studie, Dieckow, M. [2011]: „Die Weltraumpolitik der EU, zivile Flaggschiffe und Optionen für die GSVP“ [S.26](#)

3. Unterschiede und Gemeinsamkeiten von unbemannten Aufklärungsdrohnen und -satelliten in der militärischen Anwendung

3.1. Einführung

Der militärische Anteil dieses Sachstands vergleicht die Leistungsprofile unbemannter militärischer Luftfahrzeuge mit den Leistungsprofilen im Weltraum in niedriger Erdumlaufbahn (Low Earth Orbit) orbitierender militärischer Aufklärungssatelliten. Dabei beschränkt sich diese Ausarbeitung ausschließlich auf repräsentative militärische Systeme der abbildenden Aufklärung (imagery intelligence – IMINT), also auf Systeme zur Bild- und Videoaufzeichnung. Nicht betrachtet werden Systeme der „signal intelligence“ (SIGINT), d.h. Systeme zur Aufzeichnung von Funk- und Fernmeldeverbindungen (communication intelligence – COMINT) oder zur Erfassung elektromagnetischer Ausstrahlungen (electronic intelligence – ELINT), wie beispielsweise zum Aufspüren sendender Radaranlagen von Flugabwehrsystemen.

Dieser Abschnitt stellt zunächst die militärischen Aufgabenfelder von Aufklärungs-UAS und -satelliten dar. Innerhalb dieser Aufgabengebiete werden anschließend die technologischen Leistungsprofile verschiedener militärischer Systeme (schwerpunktmäßig der Bundeswehr) erläutert. Hierauf aufbauend werden die wichtigsten Gemeinsamkeiten und Unterschiede von militärischen Aufklärungs-UAS und -satelliten dargestellt.

Auch für die in diesem Sachstand betrachteten militärischen Aufklärungssatelliten und „heavier-than-air“-UAS gestaltete sich die Recherche von Leistungsdaten sehr schwierig. Denn aus Geheimhaltungsgründen stellten weder das Bundesministerium der Verteidigung noch das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt für diese Systeme offizielle Leistungsparameter zur Verfügung. Die in diesem Sachstand genannten Leistungsdaten wurden ausschließlich aus öffentlich zugänglichen Quellen gewonnen, wobei die Daten in diesen Quellen häufig divergierten. In solchen Fällen wurde in diesem Sachstand stets der beste Leistungswert wiedergegeben, in der Annahme, dass das reale Leistungsvermögen des jeweils betrachteten Systems noch darüber liegen dürfte.

3.2. Aufgabenfelder

Militärische Aufklärungssatelliten und -UAS tragen im Rahmen der Nachrichtengewinnung und Aufklärung zur Lagebilderstellung auf der strategischen, der operativen und der taktischen Ebene bei. Hierbei umfasst die strategische Ebene die „weltweite Aufklärung“, die operative Ebene die „weiträumige Aufklärung“ und die taktische Ebene einerseits die „Aufklärung über dem Einsatzgebiet“ sowie andererseits die taktische Aufklärung durch die Truppe am Boden.²⁹ Während die Aufklärung auf der strategischen Ebene das komplette Umfeld einbezieht und auf Grundlage einer „vorsorglichen“ Informationsgewinnung ein wesentliches Instrument der kontinuierlichen und ressortübergreifenden weltweiten Krisenfrüherkennung darstellt, dient die

²⁹ Wikipedia – Die freie Enzyklopädie (2014): Militärische Aufklärung, http://de.wikipedia.org/wiki/Milit%C3%A4rische_Aufkl%C3%A4rung (letzter Zugriff: 19.02.2014).

operative weiträumige Aufklärung der Überwachung größerer, über das unmittelbare Einsatzgebiet hinausgehender Flächen und ist Grundlage für die Einsatzplanung und -durchführung.

Die weltweite Aufklärung findet ständig, d.h. in Zeiten von Frieden, Krise und bewaffnetem Konflikt, statt. Diese Aufgabe können im Frieden ausschließlich Satelliten erfüllen, weil der Einsatz von UAV über fremdem Territorium im Frieden eine Luftraumverletzung darstellen würde, soweit ein Staat seinen Luftraum nicht für einen solchen Einsatz freigegeben hat bzw. ein VN-Mandat zum Einsatz von Streitkräften im oder über dem Territorium dieses Staates nicht vorliegt. Die weiträumige Aufklärung ist regional beschränkt und ereignisorientiert. Sie findet in Krisen wie in Konfliktzeiten statt. Die taktische Aufklärung hingegen bezieht sich auf das unmittelbare Einsatzgebiet und zielt auf die Gewinnung von Echtzeitdaten militärisch relevanter Entwicklungen ab: Die Aufklärung über dem Einsatzgebiet erfolgt mithin lokal, ereignisorientiert und nahezu ausschließlich im Konfliktfall.

Aufklärungssysteme, die diese drei Ebenen der Aufklärung – „weltweite Aufklärung“, „weiträumige Aufklärung“ sowie die „Aufklärung im Einsatzraum“ einschließlich der taktischen Aufklärung durch die Truppe – abdecken, bilden gemeinsam einen sogenannten Aufklärungsverbund.

3.2.1. Weltweite Aufklärung

Die weltweite strategische Aufklärung soll Absichten und Möglichkeiten fremder Streitkräfte eruieren und zielt darauf ab, Daten über das Rüstungspotenzial und über die räumliche Streitkräfteverteilung anderer Staaten sowie über Neuentwicklungen von Waffensystemen zu beschaffen. Für die Durchführung dieser Aufgabe spielen Satelliten eine herausragende Rolle: Denn sie sind bereits im Frieden besonders zur Informationsgewinnung geeignet, da sie aus dem Weltraum heraus – quasi unbeobachtet – aufklären und dabei keine Hoheitsrechte desjenigen Staates verletzen, über dem sie zur Informationsgewinnung operieren.

Bei den militärischen Aufklärungssatelliten wird zwischen Systemen unterschieden, die unter Verwendung eines sogenannten Synthetic Aperture Radar (SAR) Radarbilder generieren, und solchen, die mit optischen und Infrarot-Sensoren Video- und Fotoaufnahmen erzeugen. Repräsentative Systeme für diese beiden Satellitenkategorien sind das deutsche satellitengestützte Aufklärungssystem SAR-Lupe und das französische System HELIOS II.

3.2.1.1. SAR-Lupe

Das im Jahr 2008 in Betrieb genommene satellitengestützte Aufklärungssystem SAR-Lupe besteht aus einer Bodenstation und fünf identischen Satelliten, die auf drei versetzten polaren Umlaufbahnen in ca. 500 km Höhe die Erde umkreisen³⁰. Die Größe jedes der 720 kg wiegenden Satelliten beträgt 4 x 3 x 2 m³. Der durchschnittliche Energieverbrauch liegt pro Satellit bei ca. 250

³⁰ Nach der Definition der sogenannten „Kármán-Linie“ beginnt der freie Weltraum in Abgrenzung zur Erdatmosphäre ab einer Höhe von ca. 100 km Höhe über der Erd- bzw. Wasseroberfläche der Erde. <http://www.fai.org/icare-records/100km-altitude-boundary-for-astronautics> (letzter Zugriff: 24.02.2014).

Watt, seine Lebensdauer beträgt ca. 10 Jahre.³¹ Da auf den SAR-Lupe-Satelliten die Solarzellen und auch die Richtantennen nicht schwenkbar angebracht sind, müssen die Satelliten je nach Einsatzmodus unterschiedlich ausgerichtet werden. Die Lageausrichtung erfolgt mit Hilfe von Magnetspulen und Reaktionsrädern. Darüber hinaus werden Hydrazin-Triebwerke zur Orbitalkontrolle eingesetzt.³² Die Winkel zwischen den Bahnebenen sowie die Phasenwinkel der Satelliten sind für eine möglichst kurze Systemantwortzeit optimiert. Die Plattform erlaubt den Satelliten eine präzise Ausrichtung zur Bildaufnahme: Jedes Synthetic Aperture Radar ist in der Lage, in einer Schrägsicht auf die Erde links und rechts seiner Flugbahn Einzel- oder Streifenbilder der Erdoberfläche aufzunehmen.³³ Die Konstellation der Satelliten untereinander ist so gewählt, dass die Einsehbereiche der fünf Satelliten lückenlos aneinander schließen. Die Bodenstation dient insbesondere der Satellitenkontrolle, zum Datenempfang, der Bildaufbereitung, -auswertung und -archivierung.

Der Vorteil der von SAR-Lupe genutzten Radartechnologie besteht darin, dass weltweite Informationen zu jeder Tages- und Nachtzeit und bei jedem Wetter gewonnen werden können. Wolken und ungünstige Wetterverhältnisse sind nicht hinderlich. Rein optische Sensoren hingegen können nur bei Tag operieren und auch nur dann, wenn keine Wolken die Erde verhüllen. Bestimmte Daten, wie z.B. die Darstellung sich bewegender Ziele oder die Ermittlung von Gegenstandshöhen, kann - im Gegensatz zu Video- und Infrarot-Sensoren- nur ein SAR-Radar zur Verfügung stellen. Darüber hinaus kann ein SAR-Radar auch getarnte Gegenstände erkennen und zudem sehr große Aufklärungsflächen abdecken. Ebenso können Entfernungen ziemlich genau bestimmt werden. Da Radarwellen insbesondere Metalloberflächen gut reflektieren, können z.B. auch Fahrzeuge und große Anlagen leicht ermittelt werden.

Die Bilddaten werden über eine fest installierte Parabolreflektorantenne, die sich auf jedem der baugleichen Satelliten befindet, übertragen. Das Radar kann Bilder erzeugen, deren maximale Auflösung bis 1 m beträgt.³⁴ Da jeder Satellit mit einem 128 GB Speichermedium ausgestattet ist, können pro Tag mehr als 25 Bilder zur Verfügung gestellt werden.³⁵ Das System erlaubt die Bereitstellung ausgewerteter Bilder mit einer durchschnittlichen Verzögerungszeit von ca. 11 Stunden. Grundsätzlich können alle Anfragen zur Aufklärung innerhalb von 24 Stunden beantwortet werden.³⁶ Wenngleich mit Radar ausgestattete Satelliten einen hohen Strombedarf erfordern, haben sie den Vorteil, dass sie auf Grund der Höhe, Masse und Bahn frei von Lagestörungen sind.

Die Gesamtkosten für SAR-Lupe wurden im Einzelplan 14 des Bundeshaushalts 2008 mit ca. 746 Mio. Euro angegeben.³⁷ 2007 hat die Bundeswehr zudem eine Abteilung für satellitengestützte

³¹ OHB System AG Bremen (2012): SAR-LUPE – Das innovative Programm zur satellitengestützten Radaraufklärung.

³² Wikipedia – Die freie Enzyklopädie (2013): SAR-Lupe, <http://de.wikipedia.org/wiki/SAR-Lupe> (letzter Zugriff: 19.02.2014).

³³ Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (2013): http://www.baain.de/portal/a/baain/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9pMTEzDy9gqL8rNTsEr3UzLyq1JwCveLEopzSglT9gmxHRQAZj-ri/ (letzter Zugriff: 19.02.2014).

³⁴ Ebenda.

³⁵ Lange, Sascha (2007a): SAR-Lupe Satellites launched. Strategie und Technik – International Edition II/2007, S. 14.

³⁶ Ebenda, S. 14.

³⁷ Lange, Sascha (2007b): Der erste SAR-Lupe Satellit im All. Strategie und Technik Februar 2007, S. 16.

Aufklärung innerhalb des Kommandos Strategische Aufklärung eingerichtet. Für die Kontrolle und für die Evaluierung der Daten des Systems sind mehr als 90 Personen zuständig.³⁸

Um die Aufklärungsfähigkeiten auch in der Zukunft zu erhalten, beabsichtigt die Bundeswehr, das System-SAR-Lupe ca. Anfang 2019 durch das aus drei Satelliten bestehende Radar-aufklärungssystem SARah zu ersetzen. Zwei der drei Satelliten dieses System basieren auf einer Weiterentwicklung der bereits bei SAR-Lupe verwendeten Reflektortechnologie. Der dritte Satellit nutzt eine Phased-Array-Technologie. Die Gesamtkosten für Entwicklung und Bau dieses Systems sollen ca. 816 Millionen Euro betragen.³⁹ Nicht eingerechnet sind hierbei die Kosten für den Transport der SARah Satelliten in den Low Earth Orbit und für ihren Betrieb für die erwartete Lebensdauer von ca. 10 Jahren.

3.2.1.2. HELIOS II

Zur Erweiterung ihrer mit SAR-Lupe erlangten Fähigkeit zur weltweiten satellitengestützten Radar-Aufklärung sicherte sich die Bundeswehr vertraglich ein uneingeschränktes Zugriffsrecht auf optische und Infrarot-Bilder der beiden Satelliten des französischen Systems Helios II, das nach Angaben des französischen Verteidigungsministeriums für „[...] die Überwachung einer möglichen Weiterverbreitung von Waffen, die Vorbereitung und Auswertung von Militäraktionen und die digitale Erstellung von Landkarten zur Leitung von Marschflugkörpern“⁴⁰ beschafft wurde.

Die beiden jeweils 4,2 Tonnen wiegenden Satelliten des HELIOS II-Systems umkreisen die Erde im niedrigen polaren Orbit (700 km Höhe). Aus dieser Höhe können ihre optischen Sensoren (Licht- und Infrarotkameras) einen Streifen am Erdboden längs der Flugrichtung bis ca. 200 km nach jeder Seite erfassen. Allerdings können Bilder maximaler Auflösung nur bis zu etwa 10 km nach jeder Seite erzeugt werden.⁴¹ Ebenso kann das erfasste Gebiet, je nach Anzahl der eingesetzten Satelliten, nur in bestimmten Abständen von Stunden bis einigen Tagen abgedeckt werden. Die niedrigen Umlaufbahnen sind vorteilhaft in Bezug auf die Auflösung. Das System soll in der Lage sein, eine Auflösung von 35 cm zu ermöglichen.⁴² Die Kosten für dieses Satellitensystem sollen ca. eine Milliarde Euro betragen haben.⁴³

³⁸ Lange (2007a), a.a.O., S. 13.

³⁹ Lehmann, Robert (2013): Neues Satelliten-System für die Bundeswehr. http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde/lut/p/c4/NYtNC8IwEET_UbYBIrRbShG8etF6KWm71MV8IHxbXPzxJgdn4F3eDDyhNLqDVieUovPwgGm85TV1BdU7i07eo8flZEEGUd5YcAI93osgzlFIerBKFS4spPEakssvpqduRhFCwyN7jttmn_0t20v9mSNMf21u8EWgv0Brw9V1A!/ (letzter Zugriff: 04.03.2014).

⁴⁰ o.V. (2004): Französischer Aufpasser: Ariane setzt Spionage-Satelliten Helios aus. Spiegel-Online vom 18. Dezember 2004, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/franzoesischer-aufpasser-ariane-setzt-spionage-satelliten-helios-aus-a-333597.html> (letzter Zugriff: 20.02.2014).

⁴¹ Petermann, Thomas; Coenen, Christopher; Grünwald, Reinhard (2003): Aufrüstung im All – Technologische Optionen und politische Kontrolle, Band 16 von Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, S. 72.

⁴² Lange (2007b), a.a.O., S. 16.

⁴³ o.V. (2004): Französischer Aufpasser: Ariane setzt Spionage-Satelliten Helios aus, a.a.O..

3.2.2. Weiträumige Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes

Die weiträumige operative Aufklärung soll insbesondere der Informationsgewinnung in der Tiefe des Einsatzgebietes dienen, die für die eigene Operationsplanung und -durchführung notwendig sind. Es geht hierbei insbesondere um Informationen darüber, welche Routen (Fernstraßen, Kreuzungen) und Räume für Bewegungen und Rast der eigenen Truppe geeignet sind, von wo der Gegner seine Kräfte führt (höhere Stäbe, Fernmeldeeinrichtungen), wo er besondere Einsatzmittel stationiert hat, wo gegnerische Kräfte operieren sowie über welche Wege (main supply routes) diese versorgt werden.

In der Vergangenheit wurde diese Aufgabe von bemannten Systemen wie dem Kampfflugzeug Tornado durchgeführt. Heute und in Zukunft geht es verstärkt darum, die Gefährdung für Material und Personal durch gegnerische Flugabwehrwaffen möglichst gering zu halten. Daher ist in jüngster Zeit bei Beschaffungsprogrammen die Bedeutung abstandsfähiger, d.h. in großer Höhe operierender Sensorträger und hierbei insbesondere unbemannter Plattformen mit langer Verweildauer stark gestiegen. In Abhängigkeit von ihrer Reichweite und insbesondere ihrer Flughöhe werden diese Systeme nach MALE- (medium altitude long endurance) und HALE-UAV (high altitude long endurance) unterschieden, wobei unter „long endurance“ Operationszeiten von mehr als 24 Stunden verstanden werden.⁴⁴ Mit ihrer bildgebenden Sensorik (z.B. CCD⁴⁵-Kamera, IR-Kamera, SAR) können HALE- und MALE- UAV kontinuierlich großflächige Lagebilder erstellen, aber auch einzelne Objekte detailliert aufklären. Die Aufklärungsergebnisse werden im Allgemeinen via Satellitendatalink an Bodenkontrollstationen in Echtzeit übermittelt, dort dargestellt und ausgewertet.

3.2.2.1. MALE-UAV

MALE-UAV operieren in einer Einsatzhöhe zwischen ca. 5.000 m und 14.000 m.⁴⁶ Ihre Startmasse kann bis zu 1.500 kg betragen, die Reichweite liegt bei bis zu 500 km. In dieser UAS-Kategorie setzt die Bundeswehr gegenwärtig auf Leasingbasis das von der israelischen Firma Israel Aerospace Industries (IAI) entwickelte System HERON 1 ein. Eine Entscheidung über ein Nachfolgesystem ist noch nicht getroffen worden.

3.2.2.1.1. HERON 1

Die Bundeswehr verwendet seit März 2010 im Rahmen des ISAF-Einsatzes in Afghanistan HERON 1 als sogenannte Zwischenlösung SAATEG (System zur abbildenden Aufklärung bis in die Tiefe des Einsatzgebietes). HERON 1 ist ein 8,5 m langer Hochdecker mit einer Spannweite

⁴⁴ Lange, Sascha (2003): Flugroboter statt bemannter Militärflugzeuge? Hrsg.: Stiftung Wissenschaft und Politik. SWP-Studie S 29, Juli 2003, S. 10.

⁴⁵ CCD = „Charge-Coupled Device“, übersetzt etwa: „ladungsgekoppeltes Bauelement“. CCD-Kameras enthalten elektronische Bauelemente oder Schaltungen, wie z.B. einen CCD-Sensor für lichtempfindliche elektronische Bildaufnahmelemente.

⁴⁶ Lange (2003), a.a.O., S. 10.

von 16,6 m⁴⁷. Die Auslegung ermöglicht dank eines hohen Auftriebs und eines geringen induzierten Widerstands zu Lasten einer hohen Maximalgeschwindigkeit eine hohe Ausdauer und eine maximale Flughöhe von ca. 9.150 m⁴⁸. Der Antrieb erfolgt durch einen 86 kW (115 PS) starken Vierzylinder-Benzinmotor. Dieser treibt einen zweiblättrigen Schubpropeller an. Damit können Geschwindigkeiten zwischen 110 km/h und 215 km/h geflogen werden, wobei die bauartbedingte relativ niedrige Fluggeschwindigkeit grundsätzlich keinen Nachteil darstellt. Das Seitenleitwerk ist doppelt ausgelegt, und beim Fahrwerk handelt es sich um einfach bereiftes Dreipunkt-fahrwerk. Das maximale Startgewicht (MTOW) beträgt 1.150 kg inklusive der Nutzlast von 250 kg. Auf maximaler Flughöhe können Flugzeiten von über 24 Stunden erreicht werden.⁴⁹

Die Nutzlast der HERON 1 kann je nach Missionsprofil variieren, ist jedoch stark durch die Gewichtsbeschränkung von 250 kg beschränkt. Eine übliche Nutzlast umfasst einerseits ein Synthetic Aperture Radar, das eine wetter- und tageszeitunabhängige Aufklärung von größeren Objekten wie beispielsweise Fahrzeugen ermöglicht, und andererseits eine kreiselstabilisierte und schwenkbare „Multi-Mission Optronic Stabilized Payload“ (MOSP). Diese umfasst zwei TV-Kameras, eine mit einer Festbrennweite von 500 mm und eine zweite mit zehnfachem optischen Zoom. Diese werden ergänzt durch einen „Forward-Looking-Infrared“-Sensor (FLIR), der auch bei Nacht oder schlechtem Wetter optische Aufnahmen ermöglicht. Die HERON 1 kann ebenso ein „Full Motion Video“ nahezu in Echtzeit aufnehmen.⁵⁰

Das gesamte gewonnene Bildmaterial kann in Echtzeit sowohl über Richtfunk, wenn eine Sichtverbindung möglich ist, als auch über Satellitendatenlink direkt an das Einsatzführungskommando im Heimatland, an den Gefechtsstand im Einsatzland oder an die Truppen im Einsatz übertragen werden. Die Kommunikation via Satellit wird erforderlich, wenn HERON 1 „Beyond Line of Sight“ (BLOS) operiert, d.h. zum Beispiel durch Gebirge abgeschattet wird. Dann erfolgt ihre Steuerung ebenfalls über Satellitendatenlink.⁵¹ Die HERON 1 kommt u.a. für die Aufgaben Langzeitüberwachung, Unterstützung in Gefechtssituationen und von Einsatzkräften, Artilleriebeobachtung, Suche nach Sprengfallen und für den Objektschutz in Betracht. Nachteilig ist, dass sie einerseits nicht lufttransportfähig ist und andererseits ein „See and Avoid“ mit Hilfe der optischen Kamera nicht möglich ist.⁵²

Die HERON 1 hat für die Bundeswehr in Afghanistan in über 1.500 Flügen bereits mehr als 17.000 Stunden geflogen.⁵³ Sie verfügt zudem über ein Automatic Takeoff and Landing (ATOL) System, das es ermöglicht, bei unerwartet auftretenden Wetterverschlechterungen sicher zu lan-

⁴⁷ Rosenthal, Jürgen K. G. (2012): Der Einsatz von Unmanned Aerial Systems. <http://www.hardthoehenkurier.de/index.php/archiv/112-beitraege/schwerpunktthema/450-der-einsatz-von-unmanned-aerial-systems> (letzter Zugriff: 19.02.2014).

⁴⁸ Ebenda.

⁴⁹ Radmann, Holger (2012): Der Einsatz des UAS HERON 1 in Afghanistan. In: Bundeswehr im Einsatz, Ausgabe Mai 2012, S. 62.

⁵⁰ Ebenda, S. 62.

⁵¹ Ebenda, S. 62f.

⁵² Kalbfleisch, Hubert (2013): Einsatzerfahrungen der Luftwaffe mit HERON 1 in Afghanistan, Vortrag im Rahmen des DGLR-Symposiums, Workshop „UAV Autonomie“ Automatisierung unbemannter Luftfahrzeuge, vom 19. bis 20. März 2013 in München, <http://www.dglr.de/index.php?id=2799#c5448> (letzter Zugriff: 27.02.2014).

⁵³ Smekal, Jan (2014): Heron 1 im Einsatz. In: Europäische Sicherheit & Technik, 1/2014, S.41.

den. Die ATOL-Fähigkeit hat zudem mehrmals einen Totalverlust während der Landung bei unerwartet schlechtem Wetter verhindert. Trotz aller Vorteile können bauartbedingt deutliche Leistungssteigerungen ausgeschlossen werden, da die zum Betrieb der Sensoren und zur Datenübertragung verfügbare elektrische Energie limitiert ist. Ebenso sind dem System deutliche Grenzen bei der schnellen und verzugsarmen Verlagerung des Einsatzraumes aufgezeigt.⁵⁴ Eine immer noch bestehende Fähigkeitslücke ist die fehlende Verschlüsselung der Kommunikation zwischen Bedarfsträger (z.B. den Streitkräften am Boden) und der die HERON 1 steuernden Boden-Crew.

Die drei in Afghanistan zur Verfügung stehenden unbemannten Luftfahrzeuge des Typs HERON 1 werden seit Anfang 2010 von einem Konsortium, bestehend aus Rheinmetall Defence Electronics und der israelischen Firma IAI, geleast. Die Kosten für eine dreijährige Leasingzeit betragen knapp 110 Mio. Euro.⁵⁵

Im Hinblick auf ein von der Bundeswehr bis spätestens 2017 benötigtes Folgesystem für HERON 1 kommen der PREDATOR B Block 5 der amerikanischen Firma General Atomics oder der HERON TP der israelischen Firma IAI in Frage. Ein Kriterium für die Lösungsauswahl wird die modulare Auslegung und Anpassungsfähigkeit des UAS sein, damit es in unterschiedlichen Rollen, auch gleichzeitig, eingesetzt werden kann.⁵⁶ Die Kosten für die Beschaffung des PREDATOR B Block 5 würden sich voraussichtlich auf ca. 307 Mio. US-Dollar ohne Umsatzsteuer inklusive Bodenstationen und Herstellung der Versorgungs- und Einsatzreife belaufen, jedoch ohne die Kosten für die Muster- und Verkehrszulassung des Systems.⁵⁷ Der Preis für ein UAV des Typs HERON TP-UAS soll zwischen 5 und 35 Mio. US-Dollar liegen.⁵⁸

3.2.2.2. HALE UAV

HALE-UAV operieren in einer Einsatzhöhe von über 15.000 m.⁵⁹ Sie fliegen üblicherweise von ihrer Heimatbasis aus weltweit Einsatzgebiete an und kehren nach einer Einsatzzeit von typischerweise 24 bis 48 Stunden wieder zu ihrer Heimatbasis zurück. Das Startgewicht beginnt ab ca. 4.500 kg.

Die zur Zeit noch am Beginn der Entwicklungsphase stehenden unbemannten Stratosphärenluftschiffe, die im Rahmen dieses Sachstands nicht weiter betrachtet werden, wären der Kategorie der HALE-UAV zuzuordnen. Sie dürften voraussichtlich in der Gewichtsklasse zwischen 20.000 kg und 40.000 kg liegen und könnten Standzeiten von Monaten bis Jahren realisieren.

⁵⁴ Radmann (2012), a.a.O., S. 64.

⁵⁵ Rinke, Andreas (2009): Warum Heron doch gewann. In: Handelsblatt vom 19. Juni 2009.

⁵⁶ Fritschen von, Gero (2012): Flight Plan Unmanned Aircraft Systems (UAS). In: Luftwaffe 2012. cpm forum 03/2012. Hrsg.: Communication Presse Marketing GmbH, Sankt Augustin, S. 25.

⁵⁷ BT-Drs. 18/213 vom 19. Dezember 2013, S. 12.

⁵⁸ o.V. (2013): Kampfdrohnen „Reaper“ und „Heron“. Mitteldeutsche Zeitung Online vom 30. April 2013, <http://www.mz-web.de/politik/hintergrund-kampfdrohnen--reaper--und--heron-.20642162.22645590.html> (letzter Zugriff 19.02.2014) und Flesher, Daniel; Oni, Oluseyi; Sassoon, Aaron (2011): Border Security: Air Team, S. 24.

⁵⁹ Lange (2003), a.a.O., S. 10.

3.2.2.2.1. Global Hawk

Der von Northrop Grumman in den USA hergestellte Global Hawk (RQ/MQ 4) ist ein typischer Vertreter aus der Kategorie der HALE-UAV. Er ist das bisher größte in Serie gefertigte militärische unbemannte Flugzeug der Welt.

Das aktuelle Modell Global Hawk RQ-4B - Block 40 verfügt mit einer maximalen Startmasse von ca. 15.000 kg, einer Länge von 14,5 m und einer Spannweite von 39,8 m über ein Turbofan-Kerntriebwerk, das eine Antriebsleistung von 28,5 kN erzeugt. Bei einer Zuladung von maximal 7.847 kg Treibstoff ermöglicht diese Leistung eine Reichweite von über 16.000 km bzw. von etwa 5.500 km bei 24 Stunden Aufklärung über dem Einsatzgebiet. Die maximale Flughöhe des Global Hawk beträgt über 18 km, die maximale Nutzlast 1.360 kg.⁶⁰ Er kann nach Aussage von Experten mit seinen Sensoren pro Tag eine Fläche von 137.000 km² lückenlos aufklären, was der Fläche Griechenlands entspricht.⁶¹ Im Gegensatz zur HERON 1 verfügt der Global Hawk über ein „See and Avoid“-System.⁶²

Im Rahmen der Erlangung einer Fähigkeit zur luftgestützten weiträumigen abbildenden Überwachung und Aufklärung aus großer Höhe für die Unterstützung von Operationen am Boden im gesamten Intensitätsspektrum beteiligt sich Deutschland an der bündnisgemeinsamen Beschaffung des aus fünf UAVs des Typs RQ 4B Global Hawk Block 40 bestehenden Alliance Ground Surveillance Systems (AGS). Die Montage des ersten Rumpfes begann am 3. Dezember 2013. Die Auslieferungen sowie der Systemaufbau sind für den Zeitraum zwischen 2015 und 2017 vorgesehen. Als Operationsbasis für die fliegenden Systeme wurde der italienische Fliegerhorst Sigonella auf Sizilien ausgewählt. Als Nutzlast führen die UAVs des AGS der NATO, wie auch die Global Hawks der US Air Force, das von den Firmen Northrop Grumman und Raytheon entwickelte „Active Electronically Scanned Array Radar“ mit der Bezeichnung MP-RTIP-Radar (Multi-Platform Radar Technology Insertion Program) mit, das in der Lage ist, sowohl sich bewegende Ziele zu entdecken und zu verfolgen als auch Radaraufnahmen hoher Qualität von stationären Objekten bereitzustellen. Neben dem Fluggerät der Firma Northrop Grumman besteht das AGS aus mehreren, auch verlegbaren Bodenstationen. Insgesamt 15 Länder tragen zur Finanzierung des 1,7 Milliarden US-Dollar teuren AGS bei, wobei die USA und Deutschland den Hauptanteil der Kosten tragen.⁶³

⁶⁰ North Atlantic Treaty Organization (2013): Alliance Ground Surveillance System (AGS). http://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_48892.htm?selectedLocale=en (letzter Zugriff: 14.02.2014).

⁶¹ [REDACTED]

⁶² Wikipedia – Die freie Enzyklopädie (2014): Northrop Grumman RQ-4. http://de.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4 (letzter Zugriff: 27.02.2014).

⁶³ o.V. (2013): Northrop Grumman beginnt Bau der Global Hawks für AGS. Flug-Revue vom 4. Dezember 2013, <http://www.flugrevue.de/luftfahrt-militaer/uav/northrop-grumman-beginnt-bau-der-global-hawk-fuer-ags/541556> (letzter Zugriff: 14.02.2014).

3.2.3. Aufklärung über dem Einsatzgebiet

Zur abbildenden Aufklärung auf der taktischen Ebene, die dem unmittelbaren Erkenntnisgewinn militärischer Einheiten über sicherheitsrelevante Entwicklungen in ihren Einsatzräumen und den sie umgebenden Interessensräumen dient, verfügen diese Verbände heute über UAV mit sehr kurzer oder kurzer Reichweite in unterschiedlicher Größe und Gestalt. Diese Systeme werden in den NATO-Streitkräften in zwei Klassen eingeteilt.⁶⁴

UAV CLASSIFICATION TABLE					
Class	Category	Normal Employment	Normal Operating Altitude	Normal Mission Radius	Example Platform
CLASS I (less than 150 kg)	MICRO <2 kg	Tactical PI, Sect, Individual (single operator)	bis 200 ft	5 km	MIKADO
	MINI 2-20 kg	Tactical Sub-unit (manual Launch)	bis 3.000 ft	25 km	ALADIN
	SMALL >20 kg	Tactical Unit (em- ploys launch sys- tem)	bis 5.000 ft	50 km	LUNA
CLASS II (150 kg to 600 kg)	TACTICAL	Tactical Formation	bis 10.000 ft	200 km	KZO

Tabelle 1: UAV Typen bzw. Klassen der taktischen Ebene⁶⁵

⁶⁴ Vgl. Joint Air Power Competence Center (2010): Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO, S. 9., auch abrufbar unter: http://www.japcc.de/nato_flightplan_uas.html (letzter Zugriff: 27.02.2014).

⁶⁵ Vgl. [REDACTED] (2010), a.a.O., S. 5.

Die Klasse I umfasst dabei handgestartete und tragbare UAV für die kleinste militärische Einheit. Sie zeichnen sich durch eine extrem geringe Verweildauer, Reichweite, Nutzlast und ein extrem geringes Gewicht aus. In der Regel sind sie mit Infrarot- oder elektrooptischen Sensoren ausgestattet. Sie operieren in Sichtweite und geringer Höhe und verfügen über eine Einsatzdauer von bis zu zwei Stunden.⁶⁶ Diese Klasse umfasst Mikro-UAS mit einem Maximalgewicht bis zu 2 kg und einer Reichweite bis 5 km, Mini-UAS mit einem Maximalgewicht bis zu 20 kg und einer Reichweite bis 25 km sowie kleine UAS mit einem Maximalgewicht von 150 kg und einer Reichweite bis 50 km. Diese UAS können auch im Verbund oder als Schwarm eingesetzt werden. Darüber hinaus können Mikro-UAS auch in geschlossenen Räumen agieren und dabei Aufklärungs- oder Überwachungsergebnisse übermitteln.

Die Klasse II umfasst taktische UAV mit einem Gesamtgewicht zwischen 150 kg und 600 kg und einer Radiusbeschränkung von 200 km.

Die Bundeswehr ist bereits mit einer Reihe von Kleinst- und taktischen UAV-Systemen ausgerüstet. Sowohl diese von der Bundeswehr bereits eingesetzten als auch die in Beschaffung befindlichen oder geplanten UAV-Systeme dienen im Wesentlichen der bilderrfassenden Aufklärung. Dabei nutzen taktische UAV in der Regel gekühlte oder ungekühlte Infrarottechnologie zur Luftaufklärung.

3.2.3.1. MIKADO (Mikroaufklärungsdrohne für den Ortsbereich)

Die MIKADO mit einem Durchmesser von ca. 1 m als gegenwärtig kleinstes UAV der deutschen Streitkräfte soll zur Unterstützung der Infanterietruppen insbesondere im urbanen Bereich eingesetzt werden. Sie dient insbesondere der Ortung von Personen, Personengruppen, Waffen und Fahrzeugen. Dieses UAV ist ein 4-Rotor-Hubschrauber (Quadrocopter) mit Elektroantrieb, der einen geräuscharmen Flug ermöglicht. Bei einem Gesamtgewicht von ca. 1 kg erreicht er eine maximale Flughöhe bis etwa 1.000 m und eine Flugdauer von ca. 30 Minuten.⁶⁷ Er wird über eine kleine Kontrollstation ferngesteuert und weist je nach Zuladung einen Einsatzradius zwischen 500 m und 1.000 m auf. Als Nutzlasten trägt die MIKADO eine Color-Videokamera, eine Nachtsichtkamera und eine Wärmebildkamera mit einer Auflösung von 384 x 288 Pixel, die Objekte aufklären und bei Tag, in der Dämmerung und bei Nacht identifizieren können.⁶⁸ Die Datenübertragung erfolgt in Echtzeit. Ihr Stückpreis liegt bei unter 100.000 Euro.⁶⁹

Das Heer hat im Rahmen der Struktur „Neues Heer“ einen Gesamtbedarf von 290 MIKADOs ermittelt⁷⁰. Inzwischen befinden sich 164 Systeme in der Nutzung.⁷¹

⁶⁶ [REDACTED] (2010), a.a.O., S. 6.

⁶⁷ Deutsches Heer (2013): MIKADO. http://www.deutschesheer.de/portal/a/heer!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3l5EyrpHK9jNTUlr2S1OSMvMxsvZzStBK93MzsjR8_YJsR0UALOkjaQ!!/ (letzter Zugriff: 19.02.2014).

⁶⁸ Airrobot (2010): Wärmebild-Kamera. http://wayback.archive.org/web/20100414110021/http://www.airrobot.de/deutsch/produkt_01_nutzlast_waerme.php (letzter Zugriff: 27.02.2014).

⁶⁹ Monroy, Matthias (2013): Auch Bodentruppen der Bundeswehr wollen größere Helikopter-Drohnen. <http://www.heise.de/tp/artikel/39/39345/1.html> (letzter Zugriff: 24.02.2014).

⁷⁰ Klos, Dietmar (2007): Unbemannte Luftfahrzeuge des Heeres in: Europäische Sicherheit, Heft 10/2007, S. 67.

3.2.3.2. ALADIN (Abbildende Luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächsbereich)

Die abbildende luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächsbereich (ALADIN) der Firma Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH (EMT) wird zur Ziel-, Wirkungs- und Lageaufklärung im Nächsbereich eingesetzt. Die 1,53 m lange und 1,46 m breite (Spannweite) UAV wird mit einem bürstenlosen Gleichstrommotor mit 12 Volt betrieben. Die Energieversorgung erfolgt durch ein Lithium-Polymer-Batteriepaket mit 14 Volt bzw. 9 Amperestunden. Als Elektrosegler mit Klapppropeller konzipiert, wird das System per Handwurf gestartet und erreicht dann eine Geschwindigkeit von bis zu 80 km/h. Mit einem Startgewicht von weniger als 4 kg kann ALADIN je nach verwendeter Nutzlast 30 bis 60 Minuten lang in einer typischen Einsatzhöhe von 50 m bis 150 m operieren, die maximale Flughöhe beträgt 3.000 m. Der Missionsradius beträgt nach Herstellerangaben über 15 km⁷².

ALADIN fliegt programmgesteuert, allerdings kann der Kurs bei Bedarf jederzeit abgeändert werden. Bei Tageslicht können verschiedene Kameras für Fotos und Videos eingesetzt werden. Zur Nachtaufklärung dienen Infrarot-(Wärmebild-)kameras. Die Datenübertragung erfolgt in Echtzeit. ALADIN gehört als Subsystem zum Spähwagen Fennek, dem Aufklärungsfahrzeug der Eingreifkräfte. Bis heute wurden 323 ALADIN-Drohnen-Systeme durch die Bundeswehr beschafft, 290 Systeme befinden sich in der Nutzung.⁷³ Das deutsche Heer setzt derzeit in Afghanistan das System ALADIN ein.

3.2.3.3. LUNA (Luftgestützte Unbemannte Nahaufklärungs Ausstattung)

Die luftgestützte unbemannte Nahaufklärungs-Ausstattung (LUNA) der Firma Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH (EMT) wird zur Nahaufklärung im Bereich bis zu 40 km eingesetzt. LUNA verfügt über einen Zweitaktmotor und kann eine Fluggeschwindigkeit von 70 km/h bis 160 km/h erreichen. Bei einer Länge von 2,36 m und einer Flügelspannweite von 4,17 m liegt die Flugstrecke bei maximal 360 km. Sie kann auch bei schlechten Wetterbedingungen und bei nicht zu starkem Wind eingesetzt werden. Über ein Netzlandesystem ist eine punktgenaue Landung ohne ortsgebundene Infrastruktur möglich.

Mit einem Abfluggewicht von ca. 40 kg⁷⁴ kann das bis zu einer Flughöhe von 5.000 m operierende LUNA-System aus bis zu 65 km⁷⁵ Entfernung über ungekühlte IR-Sensorik, vier Farbbild-

⁷¹ Bundesministerium der Verteidigung / Presse- und Informationsstab (2014): Übersicht: Drohnen der Bundeswehr und Drohnenverluste (Stand: 14. Januar 2014). http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde/!ut/p/c4/NYqxDsIwDET_KG6EBA0bURhYWaBsbmsqizapXNMu_XiSgTvpDfcOXpAbceUBIVPEEZ7QdHxuN9NuPZIFhVg_gvRWgkd557VLkbRQKSpnDoKaxMxJdCzmK5KN4R6aygZvT9U_dnfuEPz16Opw83eYp-nyA-BI1Ck!/ (letzter Zugriff: 13.02.2014).

⁷² Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH (2009a): ALADIN – Mini-Luftaufklärungssystem. http://www.emt-penzberg.de/uploads/media/ALADIN_de_01.pdf (letzter Zugriff: 13.02.2014).

⁷³ Bundesministerium der Verteidigung / Presse- und Informationsstab (2014), a.a.O..

⁷⁴ Deutsches Heer (2009a): Nahaufklärungs-Ausstattung LUNA. www.deutschesheer.de/portal/a/heer/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBlgkZeoX5DtqAgArcsqTw!!/ (letzter Zugriff: 19.02.2014).

⁷⁵ Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH (2009b): LUNA – Luftaufklärungs- und Überwachungssystem. http://www.emt-penzberg.de/uploads/media/LUNA_de_01.pdf (letzter Zugriff: 19.02.2014).

kameras oder ein Synthetic Aperture Radar Aufklärungsdaten in Echtzeit zur Bodenkontrollstation senden. Die Flugdauer beträgt, je nach Startgewicht, bis zu 6 Stunden. Die Missionsführung erfolgt vollautomatisch auf programmierten Wegstrecken oder ferngesteuert. Flugprogramme können während des Flugs geändert werden. Ein Taglichtsensor und ein IR-Sensor ermöglichen ein Aufklären von Personen und Gegenständen bei Flughöhen zwischen 300 m und 1.800 m über Grund. Sie hat außerdem die Fähigkeit zur Aufklärung mit einem elektrooptischen und einem Infrarotsensor. LUNA verfügt zudem über eine automatisierte Bildauswertung (ABUL). Dieses System ist ein aus mehreren Modulen zusammengesetztes, nahezu verzugsloses Verfahren zur Unterstützung der Bildauswertung. Während des operationellen Flugbetriebs wird die Bildqualität verbessert und die Luftbildauswertung erleichtert. Derzeit werden schwenkbare Sensorplattformen genutzt, die dem Luftbildauswerter eine gute Punktbeobachtung ermöglichen. Technisch lässt sich mit geeigneten Schwenkmustern bei Einsatz von digitaler Bildsensorik ein lückenloser, hochauflösender Bildteppich fächerartig um die Flugwegspur zur Flächenaufklärung erfassen. In diesem Luftbildteppich ist ein Schwenken und Zoomen jederzeit möglich, auch wenn sich das betreffende Gebiet nicht im aktuellen Blickbereich des Fluggeräts befindet.⁷⁶ Um eine Nachtsicht zu gewährleisten, verfügt LUNA über ein hochauflösendes Wärmebildgerät mit Doppelsehfeld und Matrixdetektor neuester Generation und voller Videoauflösung. Ihr Stückpreis liegt bei ca. 2 Mio. Euro.⁷⁷

Vom System LUNA, das im Kosovo, in Mazedonien und in Afghanistan eingesetzt wurde bzw. wird, nutzt die Bundeswehr acht Systeme (mit je zehn Fluggeräten).⁷⁸

3.2.3.4. KZO (Kleinfluggerät für Zielortung)

Das Kleinfluggerät für Zielortung (KZO) der Firma Rheinmetall Defence dient zur Lage-, Ziel- und Wirkungsaufklärung und kann durch seine - gegenüber LUNA - größere Reichweite auch weiter entfernte Räume aufklären. Dabei ist es aufgrund seiner Stealth-Technologie selbst schwer aufzuklären. Es wird seit Juli 2009 im Rahmen des ISAF-Einsatzes in Afghanistan eingesetzt. Das Kleinfluggerät mit einer Spannweite von 3,42 m und einer Länge von 2,26 m hat ein maximales Startgewicht von 168 kg und trägt dabei ein 35 kg schweres Infrarot (IR)-Nutzlastmodul. Seine Infrarot-Sensoren ermöglichen auch unter starken elektromagnetischen Störungen die Ortung von mehr als 100 km entfernten Zielen. Die Datenübertragung erfolgt bis 65 km störicher.⁷⁹

Die maximale Geschwindigkeit des KZO beträgt 210 km/h. Es operiert grundsätzlich programmgesteuert, die Bodenkontrollstation kann aber während des Fluges eingreifen. Das Fluggerät erreicht je nach Flugprofil eine Flugdauer von 3 bis 5 Stunden sowie eine Flughöhe von bis zu 4.000 m. In der Regel wird je nach Auftrag in Höhen zwischen 1.000 m und 2.000 m über Grund operiert. Durch ein Raketenstartsystem kann das KZO auch bei ungünstigen Witterungsbedin-

⁷⁶ Dewitz, Christian (2010): System Luna im Auslandseinsatz: Aus der Ferne immer live dabei. bundeswehr-journal 1+2/2010, 6. Jahrgang, S. 79.

⁷⁷ Monroy (2013), a.a.O..

⁷⁸ Bundesministerium der Verteidigung / Presse- und Informationsstab (2014), a.a.O..

⁷⁹ Deutsches Heer (2009b): Kleinfluggerät für Zielortung (KZO). www.deutschesheer.de/portal/a/heer/lut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBK97Kp8_YJsR0UAzD2Fiw!!/ (letzter Zugriff: 13.02.2014).

gungen gestartet werden. Das KZO lässt sich während des Fluges umprogrammieren und lässt verzugslose Reaktionen auf Lageänderungen zu. Es ist ein nahezu allwetterfähiges und tageszeit-unabhängiges System. Aufklärungsaufträge mit vorgegebener „time over target“ berechnet das System selbständig. Das Unternehmen Rheinmetall Defence Electronics arbeitet derzeit an einem Konzept für eine modulare Nutzung der Plattform, um mit unterschiedlichen Sensoren (z.B. mittels SAR-Sensor) zusätzliche Einsatzmöglichkeiten zu bieten.⁸⁰

Insgesamt wurden von der Bundeswehr 61 KZO-Fluggeräte beschafft, von denen sich heute noch 43 in der Nutzung befinden. Jeweils zehn Fluggeräte, je zwei Bodenkontrollstationen sowie Start-, Werkstatt-, Antennen- und Bergfahrzeuge bilden ein KZO-System.⁸¹ Ein KZO-System kostet ca. 50 Mio. Euro.⁸²

3.3. Gemeinsamkeiten und Unterschiede militärischer Aufklärungs-UAS und -satelliten im Überblick

Als Gemeinsamkeiten militärischer Satelliten und UAS der abbildenden Aufklärung hat dieser Sachstand herausgearbeitet, dass beide Systemtypen über eine sehr vergleichbare Sensorausstattung verfügen:

Sowohl militärische Aufklärungs-UAS als auch -satelliten sind mit Radar-, Infrarot- und optischen Sensoren ausgestattet, die Video- und Bildaufnahmen hoher Auflösung generieren können. Allerdings sind die optischen Sensoren von Satelliten nur dort uneingeschränkt einsetzbar, wo die Bewölkung einen freien Blick zur Erdoberfläche zulässt, während UAV jeweils sehr flexibel zu wolkenfreien Gebieten manövriert werden bzw. sogar unter der Wolkendecke positioniert werden können. Physikalisch nachvollziehbar ist, dass die Sensoren von UAS aufgrund ihrer im Vergleich zu Satelliten geringeren Flughöhe eine höhere Auflösung erzielen. Dies wird von den Satelliten – insbesondere im Vergleich zu den taktischen UAS – teilweise dadurch kompensiert, dass sie mit deutlich schwereren und damit leistungsstärkeren Sensoren ausgestattet werden können. Darüber hinaus sind sie weniger störungsanfällig als die in der Atmosphäre operierenden UAV, die in der Regel nur bei gutem und stabilem Wetter erfolgreich eingesetzt werden können.

Unterschiede zwischen militärischen Aufklärungssatelliten und -UAS ergeben sich insbesondere aus ihren verschiedenen Aufgabengebieten: Die dauerhafte, bereits im Frieden durchzuführende Aufgabe der weltweiten Aufklärung lässt sich – unabhängig von luftraumrechtlichen Fragen – effektiv und effizient nur durch Satelliten gewährleisten. Die für die weiträumige Aufklärung konzipierten HALE- und MALE-UAV können jedoch Aufklärungseinsätze von Satelliten in Krisenzeiten / im Konfliktfall sinnvoll ergänzen. Sicher dürfte sein, dass die Investitionsausgaben (capital expenditure – CAPEX) militärischer UAV nicht zuletzt wegen höherer Stückzahlen

⁸⁰ European Security & Defence (2006): KZO kann mehr: Rheinmetall Defence arbeitet an neuen Fähigkeitserweiterungen, http://www.european-security.com/n_index.php?id=5599 (letzter Zugriff: 24.02.2014).

⁸¹ Bundesministerium der Verteidigung / Presse- und Informationsstab (2014), a.a.O..

⁸² Szandar, Alexander (2009): Afghanistan: Bundeswehr setzt millionenteure Mini-Drohnen ein. Spiegel-Online vom 8. August 2009, <http://www.spiegel.de/politik/ausland/afghanistan-bundeswehr-setzt-millionenteure-mini-drohnen-ein-a-641282.html> (letzter Zugriff: 24.02.2014).

niedriger als die von Satelliten sind⁸³: Während die Beschaffungskosten für ein Satellitensystem bis zu 1 Milliarde Euro betragen können, sollen sich die Kosten für den Global Hawk als das teuerste in diesem Sachstand betrachtete System auf ca. 680 Mio. Euro belaufen. Die hohen Anschaffungskosten der Satelliten wiederum werden durch relativ geringe Betriebskosten (operational expenditure – OPEX) relativiert: Beispielsweise werden im Lauf der Lebenszeit von Satellitensystemen keine Instandsetzungsmaßnahmen erforderlich.

Die bisherigen Ausführungen zu den unbemannten militärischen Luftfahrzeugen der taktischen Ebene haben darüber hinaus auch gezeigt, dass sich im Konfliktfall für die lokale, einsatzorientierte Aufklärung über dem Operationsgebiet nahezu ausschließlich UAS für den Nächst-, Nah- und Ortsbereich sowie zur Zielortung eignen. Sie sind in der Anschaffung bedeutend günstiger und zudem flexibler für den konkreten Einsatz zu handhaben. Flüge können via Bodenkontrollstation und Datalink kurzfristig geändert werden. Darüber hinaus sind sie in der Lage, über längere Zeit über einem bestimmten Ort zu verweilen. Bei den Aufklärungssatelliten ist dies nicht der Fall, da diese auf niedrigen Erdumlaufbahnen die Erde umkreisen. Für einen Erdumlauf benötigen sie ca. 90 Minuten. Dies bedeutet, dass es einen Zeitverzug zwischen der Anforderung einer Information bis zur Bereitstellung ausgewerteter Bilder gibt, der durchschnittlich ca. 11 Stunden beträgt. Insofern kann ein Satellitensystem in einem Konfliktfall – je nach Eilbedürftigkeit – sogar gänzlich ungeeignet sein. UAV sind näher am Geschehen und können in Echtzeit kontinuierlich Bilder und/ oder Videos hoher Auflösung von sicherheitsrelevanten Objekten oder Personen an die Befehlshaber aller Ebenen übermitteln.

3.4. Fazit

Dieser Sachstand hat die technologischen Leistungsprofile repräsentativer im Weltraum und in der Atmosphäre operierender Systeme der abbildenden Aufklärung dargestellt und verglichen. Es wurde verdeutlicht, dass militärische Aufklärungs-UAS und -satelliten mit einer vergleichbaren Sensorik ausgestattet werden können. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Aufgaben und Einsatzmodi kann jedoch ein Systemtyp den anderen nicht ersetzen. So haben nur Satelliten die Fähigkeit, bereits im Frieden für die Krisenvorsorge wertvolle Informationen effektiv und effizient zu sammeln, ohne dabei luftraumrechtliche Schranken beachten zu müssen. Militärische UAS ihrerseits haben den Vorteil, im Krisen- und Konfliktfall sicherheitsrelevante Entwicklungen, Objekte und Personen aus verschiedenen Höhen und mit abgestufter Auflösung kontinuierlich aufzuklären, soweit der Einsatz von Streitkräften auf fremdem Territorium und im fremden Luftraum völkerrechtlich legitimiert ist. Zur kontinuierlichen Erstellung eines Lagebildes und zur Übermittlung gewonnener Informationen in Echtzeit sind militärische Aufklärungssatelliten, die in erdnahe Umlaufbahn orbitieren, nicht in der Lage. Somit können sich Aufklärungs-UAS und -satelliten nicht ersetzen, aber im Krisen- und Konfliktfall im Aufklärungsverbund zielgerichtet ergänzen.

⁸³ Kornmeier, Claudia (2011): Der Einsatz von Drohnen zur Bildaufnahme. S. 20.

3.5. Quellen und weiterführende Literatur

- 1) Airrobot (2010): Wärmebild-Kamera. http://wayback.archive.org/web/20100414110021/http://www.airrobot.de/deutsch/produkt_01_nutzlast_waerme.php (letzter Zugriff: 27.02.2014).
- 2) Bundesamt für Ausrüstung, Informationstechnik und Nutzung der Bundeswehr (2013): http://www.baain.de/portal/a/baain!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9pMTEzDy9gqL8rNTsEr3UzLyq1JwCveLEopzSglT9gmxHRQAZj-ri/ (letzter Zugriff: 19.02.2014).
- 3) Bundesministerium der Verteidigung / Presse- und Informationsstab (2014): Übersicht: Drohnen der Bundeswehr und Drohnenverluste (Stand: 14. Januar 2014). http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde!/ut/p/c4/NYqxDsIwDET_KG6EBA0bURhYWaBsbmsqizapXNMu_XiSgTvpDfcOXpAbceUBIVPEEZ7QdHxuN9NuPZIFhVg_gvRWgkd557VLkbRQKSpnDoKaxMxJdCzmK5KN4R6aygZvT9U_dnfuEPz16Opw83eYp-nyA-BI1Ck!/ (letzter Zugriff: 13.02.2014).
- 4) Deutsches Heer (2009a): Nahaufklärungs-Ausstattung LUNA. www.deutschesheer.de/portal/a/heer!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStB1gkZeoX5DtqAgArcsqTw!/ (letzter Zugriff: 19.02.2014).
- 5) Deutsches Heer (2009b): Kleinfluggerät für Zielortung (KZO). www.deutschesheer.de/portal/a/heer!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBK97Kp8_YJsR0UAzD2Fiw!/ (letzter Zugriff: 13.02.2014).
- 6) Deutsches Heer (2013): MIKADO. http://www.deutschesheer.de/portal/a/heer!/ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBK93MzsjR8_YJsR0UALOkjaQ!/ (letzter Zugriff: 19.02.2014).
- 7) Dewitz, Christian (2010): System Luna im Auslandseinsatz: Aus der Ferne immer live dabei. bundeswehr-journal 1+2/2010, 6. Jahrgang, S. 76-79.
- 8) European Security & Defence (2006): KZO kann mehr: Rheinmetall Defence arbeitet an neuen Fähigkeitserweiterungen, http://www.european-security.com/n_index.php?id=5599 (letzter Zugriff: 24.02.2014).
- 9) Flesher, Daniel; Oni, Oluseyi; Sassoon, Aaron (2011): Border Security: Air Team. https://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0CDAQFjAA&url=https%3A%2F%2Fwww.isr.umd.edu%2F~austin%2Fenes489p%2Fprojects2011a%2FBorderSecurity-Air-Team-FinalReport.pdf&ei=IwYgU6_KO4GqtAbKm4DQBw&usq=AFQjCNFav6uu52kMSoVmn8pKy_TqUFTyZA&bvm=bv.62788935,d.Yms&cad=rja (letzter Zugriff: 12.03.2014).
- 10) ██████████ System Unbemanntes Luftfahrzeug: Wesentliche gegenwärtige und zukünftige Aspekte. Infobrief der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages.
- 11) Fritschen von, Gero (2012): Flight Plan Unmanned Aircraft Systems (UAS). In: Luftwaffe 2012. cpm forum 03/2012. Hrsg.: Communication Presse Marketing GmbH, Sankt Augustin, S. 22-26.

-
- 12) Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH (2009a): ALADIN – Mini-Luftaufklärungssystem. http://www.emt-penzberg.de/uploads/media/ALADIN_de_01.pdf (letzter Zugriff: 13.02.2014).
 - 13) Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH (2009b): LUNA – Luftaufklärungs- und Überwachungssystem. http://www.emt-penzberg.de/uploads/media/LUNA_de_01.pdf (letzter Zugriff: 19.02.2014).
 - 14) Joint Air Power Competence Center (2010): Strategic Concept of Employment for Unmanned Aircraft Systems in NATO, S. 9., auch abrufbar unter: http://www.japcc.de/nato_flightplan_uas.html (letzter Zugriff: 27.02.2014).
 - 15) Kalbfleisch, Hubert (2013): Einsatzerfahrungen der Luftwaffe mit HERON 1 in Afghanistan, Vortrag im Rahmen des DGLR-Symposiums, Workshop „UAV Autonomie“ Automatisierung unbemannter Luftfahrzeuge, vom 19. bis 20. März 2013 in München, <http://www.dglr.de/index.php?id=2799#c5448> (letzter Zugriff: 27.02.2014).
 - 16) Klos, Dietmar (2007): Unbemannte Luftfahrzeuge des Heeres in: Europäische Sicherheit, Heft 10/2007, S. 67-75.
 - 17) Kornmeier, Claudia (2011): Der Einsatz von Drohnen zur Bildaufnahme.
 - 18) Lange, Sascha (2003): Flugroboter statt bemannter Militärflugzeuge? Hrsg.: Stiftung Wissenschaft und Politik. SWP-Studie S 29, Juli 2003.
 - 19) Lange, Sascha (2007a): SAR-Lupe Satellites launched. Strategie und Technik – International Edition II/2007, S. 13-15.
 - 20) Lange, Sascha (2007b): Der erste SAR-Lupe Satellit im All. Strategie und Technik Februar 2007, S. 16
 - 21) Lehmann, Robert (2013): Neues Satelliten-System für die Bundeswehr. http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde/!ut/p/c4/NYtNC8IwEET_UbYBIIdRbShG8etF6KWm71MV8lHXbXPzxJgdn4F3eDDyhNLqDVieUovPwgGGm85TVIBdU7i07eo8flZEEGUd5YcAI93osgzlFlErBKFS4spPEakssvpqduRhFCwyN7jttmn_0t20v9mSNMf21u8EWgv0Brw9V1A!!/ (letzter Zugriff: 04.03.2014).
 - 22) Monroy, Matthias (2013): Auch Bodentruppen der Bundeswehr wollen größere Helikopter-Drohnen. <http://www.heise.de/tp/artikel/39/39345/1.html> (letzter Zugriff: 24.02.2014).
 - 23) North Atlantic Treaty Organization (2013): Alliance Ground Surveillance System (AGS). http://www.nato.int/cps/en/natolive/topics_48892.htm?selectedLocale=en (letzter Zugriff: 14.02.2014).
 - 24) o.V. (2004): Französischer Aufpasser: Ariane setzt Spionage-Satelliten Helios aus. Spiegel-Online vom 18. Dezember 2004, <http://www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/franzoesischer-aufpasser-ariane-setzt-spionage-satelliten-helios-aus-a-333597.html> (letzter Zugriff: 20.02.2014).
 - 25) o.V. (2013): Kampfdrohnen „Reaper“ und „Heron“. Mitteldeutsche Zeitung Online vom 30. April 2013, <http://www.mz-web.de/politik/hintergrund-kampfdrohnen---reaper--und--heron-,20642162,22645590.html> (letzter Zugriff 19.02.2014)

-
- 26) o.V. (2013): Northrop Grumman beginnt Bau der Global Hawks für AGS. Flug-Revue vom 4. Dezember 2013, <http://www.flugrevue.de/luftfahrt-militaer/uav/northrop-grumman-beginnt-bau-der-global-hawk-fuer-ags/541556> (letzter Zugriff: 14.02.2014).
 - 27) OHB System AG Bremen (2012): SAR-LUPE – Das innovative Programm zur satellitengestützten Radaraufklärung.
 - 28) Petermann, Thomas; Coenen, Christopher; Grünwald, Reinhard (2003): Aufrüstung im All – Technologische Optionen und politische Kontrolle, Band 16 von Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, S. 72.
 - 29) Radmann, Holger (2012): Der Einsatz des UAS HERON 1 in Afghanistan. In: Bundeswehr im Einsatz, cpm forum 05/2012, Hrsg.: Communication Presse Marketing GmbH, Sankt Augustin, S. 62-65.
 - 30) Rinke, Andreas (2009): Warum Heron doch gewann. In: Handelsblatt vom 19. Juni 2009.
 - 31) Rosenthal, Jürgen K. G. (2012); Der Einsatz von Unmanned Aerial Systems. <http://www.hardthoehenkurier.de/index.php/archiv/112-beitraege/schwerpunktthema/450-der-einsatz-von-unmanned-aerial-systems> (letzter Zugriff: 19.02.2014).
 - 32) Smekal, Jan (2014): Heron 1 im Einsatz. In: Europäische Sicherheit & Technik, 1/2014, S.41-43.
 - 33) Szandar, Alexander (2009): Afghanistan: Bundeswehr setzt millionenteure Mini-Drohnen ein. Spiegel-Online vom 8. August 2009, <http://www.spiegel.de/politik/ausland/afghanistan-bundeswehr-setzt-millionenteure-mini-drohnen-ein-a-641282.html> (letzter Zugriff: 24.02.2014).
 - 34) Wikipedia – Die freie Enzyklopädie (2014): Militärische Aufklärung, http://de.wikipedia.org/wiki/Milit%C3%A4rische_Aufkl%C3%A4rung (letzter Zugriff: 19.02.2014).
 - 35) Wikipedia – Die freie Enzyklopädie (2014): Northrop Grumman RQ-4. http://de.wikipedia.org/wiki/Northrop_Grumman_RQ-4 (letzter Zugriff: 27.02.2014).
 - 36) Wikipedia – Die freie Enzyklopädie (2013): SAR-Lupe, <http://de.wikipedia.org/wiki/SAR-Lupe> (letzter Zugriff: 19.02.2014).
-