

Timo Denk

UNMANNED AERIAL VEHICLES



Dienstag, 03. Juni 2014

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
Eigenständigkeitserklärung	2
1. Einführung.....	3
2. Geschichte	4
3. UAV Typen.....	5
3.1 MAV (<i>Micro Aerial Vehicle</i>)	5
3.2 TUAV (<i>Tactical Unmanned Aerial Vehicle</i>)	5
3.3 UCAV (<i>Unmanned Combat Aerial Vehicle</i>).....	5
3.4 URAV (<i>Unmanned Reconnaissance Aerial Vehicle</i>).....	5
4. Technik einer UCAV	6
4.1 Technische Daten	6
4.2 Optische Fernerkundungssensoren	7
4.3 Synthetic Aperture Radar	8
4.4 Bewaffnung	8
4.5 Datenlink	8
4.6 Sicherheit	9
4.7 Steuerung.....	10
5. Verwendung.....	11
5.1 Militärische Verwendung	11
5.1.1 Bundeswehr	11
5.1.2 United States Armed Forces	13
5.2 Kommerzielle Nutzung	13
5.3 Private Verwendung.....	15
6. Schlussbemerkungen	17
Quellenverzeichnis.....	18
Abbildungsnachweis	18
Danksagung.....	18
Onlineverfügbarkeit.....	18

Das Titelbild zeigt eine MQ-9 "Reaper" der U.S. Air Force am 29. November 2008 über Süd-Afghanistan.

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit versichere ich, Timo Denk, dass ich die vorliegende schriftliche Ausarbeitung selbstständig und nur mit den angegebenen Hilfsmitteln verfasst habe. Alle Passagen, die ich wörtlich aus der Literatur oder aus anderen Quellen, wie z. B. Internetseiten übernommen habe, habe ich als Zitat mit Angabe der Quelle kenntlich gemacht.

1. Einführung

Das Thema dieser Ausarbeitung sind unbemannte Luftfahrzeuge (engl.: *Unmanned Aerial Vehicle*, kurz UAV). Diese werden umgangssprachlich als Drohnen bezeichnet; dieser Begriff beinhaltet allerdings auch unbemannte Land- und Seefahrzeuge.¹ UAVs finden seit einigen Jahren eine breite Verwendung im zivilen und militärischen Bereich.

Der Begriff *Drohne* leitet sich von der Bezeichnung für die männliche Biene ab, die in der Fachsprache Drohn und umgangssprachlich auch Drohne genannt wird. Deren Bezeichnung kommt vom indogermanischen Wort *dher*, was soviel wie brummen oder summen bedeutete.² Im Englischen hat sich die Bezeichnung *unmanned aerial vehicle* (UAV) neben *drone* etabliert. Mittlerweile wird dazu übergegangen, von einem *unmanned aircraft system* (UAS) oder einem *remotely piloted aircraft system* (RPAS) zu sprechen, weil UAV nur das Fluggerät bezeichnet, während UAS als Begriff für das gesamte System inklusive Sensoren, Kameras, Bodenkontrollstation, etc. verwendet wird. RPAS bezeichnet unbemannte Fluggeräte, bei denen eine permanente Eingriffs- und Steuermöglichkeit durch einen Piloten vorliegt. Autonom fliegende UAVs können also nicht Teil eines RPAS sein.

Im militärischen Bereich dienen UAVs z. B. zur fernerkundlichen Aufklärung (optisch und Radar), zum Abhören von Funk (Telefonate, etc.) oder zur Zerstörung feindlicher Ziele einschließlich des gezielten Tötens von Menschen. Ihre Bedeutung zeigt sich auch dadurch, dass seit Ende 2011 die U.S. Air Force mehr UAV- als Kampfflieger ausbildet. In aktuellen Kampfeinsätzen sind UAVs aus militärstrategischer Sicht nicht mehr wegzudenken und erhöhen wesentlich die Sicherheit der Soldaten.³

Obwohl die UAV-Technik ursprünglich eine rein militärische Entwicklung war, finden sich mittlerweile immer mehr Anwendungen im zivilen Bereich. UAVs sind eine Technologie mit hohem innovativem Potenzial in der nahen und mittleren Zukunft. Die Anwendungsgebiete reichen von der Mini-Drohne für den Flugspaß im Garten bis hin zum Einsatz bei großen Firmen. Ein fundamentales Problem für die zivile Anwendung ist derzeit noch die Rechtslage, welche die Verwendung von UAVs in einigen Ländern, darunter Deutschland, extrem einschränkt.

Diese Ausarbeitung ist folgendermaßen gegliedert: Zuerst wird ein kurzer Abriss zur Geschichte der UAV-Entwicklung gegeben (Kap. 2). In Kap. 3 werden die wichtigsten UAV Typen genannt und jeweils anhand eines Beispiels verdeutlicht. Kap. 4 erläutert die Technik eines *unmanned combat aerial vehicle* (UCAV) am Beispiel der MQ-1 "Predator". Die drei Anwendungsfelder militärisch, kommerziell und privat werden in Kap. 5 näher vorgestellt. Kap. 6 umfasst ein paar Schlussbemerkungen.

¹<http://www.informatik.uni-oldenburg.de/~iug08/snd/definition.html>

²<http://www.wissen.de/wortherkunft/drohne>

³<http://www.strategicstudiesinstitute.army.mil/pdffiles/PUB1167.pdf>

2. Geschichte

Die ersten UAVs wurden bereits vor dem Ersten Weltkrieg (1914 - 1918) geplant. Zu dieser Zeit war deren Entwicklung im Gegensatz zum heutigen Stand noch sehr eng mit der von ferngelenkten Raketen verknüpft. Das lag primär daran, dass bei beiden Waffengattungen vergleichbare Probleme zu lösen waren.

Der *Curtiss-Sperry Aerial Torpedo* (Abb. 1 rechts) war der erste von zwei Versuchen der USA, während des Ersten Weltkriegs eine ferngelenkte Rakete zu bauen. Der Erstflug fand im Dezember 1917 statt. Grundlegende Probleme des Funks und der Stabilisierung im Flug wurden dabei nur teilweise gelöst. Eine besonders wichtige Rolle bei der Entwicklung des Kugelkompasses und der Stabilisierungssysteme mit Gyroskopen spielte der US-amerikanische Erfinder und Geschäftsmann Elmer Ambrose Sperry (1860 - 1930)⁴, nach dem diese Waffe auch benannt wurde. Die Reichweite des Curtiss-Sperry Aerial Torpedo betrug bei einer Beladung mit mit 450 kg Sprengstoff 80 km, die Marschgeschwindigkeit lag bei 145 km/h.⁵ Das System wurde im Krieg allerdings nicht mehr eingesetzt.



Nachdem UAV-Programme zur Kriegsführung keine großen Erfolge verbuchen konnten, ging man in den USA und in Großbritannien dazu über, UAVs als Trainingsziele für die Luftabwehr einzusetzen. Diese Art der Nutzung hielt sich bis zum Zweiten Weltkrieg (1939 - 1945), als 1941 in den USA ein Programm zur Entwicklung von *assault drones* gestartet wurde. Das Ziel war, Luftfahrzeuge zu bauen, die als ferngelenkte Rakete oder als UAV im heutigen Sinne fungierten.

Im Kalten Krieg, Mitte der 1950er-Jahre, begannen die US-Streitkräfte mit dem Bau von UAVs, die mit Kameras aufklären konnten. Die SD-1 (*surveillance drone*) war das erste Modell. Ausgestattet mit einer KA-20A Kamera konnte sie bis zu 95 Fotos bei Tag oder mit der IR-Kamera KA39-A 10 Fotos in der Nacht aufnehmen. Grundlegendes Problem der damaligen Technik war, dass die Fotos erst aufwändig am Boden entwickelt und ausgewertet werden mussten und damit die Beobachtung von beweglichen Zielen, z. B. Panzerformationen, nicht effektiv möglich war.

Am 12. August 1960 erfolgte der Erstflug der ersten *helicopter attack drone*. Die QH-50 DASH (Abb. 2 rechts) wurde von der U.S. Navy für den Abschuss von Torpedos eingesetzt, da es mittlerweile möglich war, feindliche U-Boote genau zu orten und dadurch effektiv zu bekämpfen.



Erstmalig im großen Stil wurden UAVs von den US-Streitkräften während des Vietnam-Krieges (1955 - 1975) vor allem zur Feindaufklärung eingesetzt. Während der Operation Desert Storm (2. Golfkrieg, 1990 - 1991) wurden viele unterschiedliche UAV-Typen in großem Umfang eingesetzt. Beim ISAF Einsatz (seit 2001) in Afghanistan sind UAV-Einsätze wichtiger Teil der militärischen Aktivitäten (→ 5.1 Militärische Verwendung).

Die Polizeibehörden einiger Bundesländer und die Bundespolizei setzen seit einigen Jahren Mikro-UAVs zur Aufklärung ein, um z. B. bei Demonstrationen einen besseren Überblick zu erhalten.⁶ Seit etwa 10 Jahren werden UAVs auch zivil und kommerziell genutzt. Ein großes Problem dabei stellen die zurzeit noch erheblichen rechtlichen Hürden dar.

⁴<http://web.mit.edu/invent/iow/sperry.html>

⁵<http://www.designation-systems.net/dusrm/app4/sperry-fb.html>

⁶<http://www.heise.de/tp/artikel/32/32105/1.html>

3. UAV Typen

3.1 MAV (*Micro Aerial Vehicle*)

MAVs sind kleine Fluggeräte, die vergleichsweise leicht zum Einsatzort transportiert werden können und diverse kleinere Sensoren an Bord haben. Sie zeichnen sich durch ein geringes Maximalstartgewicht und eine kurze Flugzeit aus. Die Honeywell RQ-16 (Abb. 3 rechts) wiegt beispielsweise ca. 9 kg und fliegt 46 Minuten lang 80 km/h schnell.⁷ Die meisten nicht-militärischen UAVs fallen ebenfalls in diese Kategorie.



3.2 TUAV (*Tactical Unmanned Aerial Vehicle*)

TUAVs haben eine Reichweite von ca. 100 km und wiegen bis zu 150 kg. Damit zählen sie zu den mittelgroßen UAVs. Sie fliegen bis zu 5 h bei einer maximalen Flughöhe von ca. 5 km. Charakteristisch ist auch der Start, der meistens mit Hilfe von Raketen oder mit einem Katapult erfolgt.⁸ Die LUNA (Luftgestützte Unbemannte Nahaufklärungs-Ausstattung) (Abb. 4 rechts) ist ein Beispiel für eine TUAV.



3.3UCAV (*Unmanned Combat Aerial Vehicle*)

UCAVs sind bewaffnete Fluggeräte, wobei Größe, Reichweite, etc. nicht fest definiert sind. Ein Beispiel ist die von General Atomics gefertigte MQ-1 "Predator" (*long endurance, medium altitude*; deutsch: lange Flugzeit, mittlere Flughöhe) (→ Kap. 4 Technik einerUCAV). In Abb. 5 (rechts) sieht man die Predator im Einsatz über der afghanischen Wüste, bewaffnet mit AGM-114 Hellfire Raketen.



3.4URAV (*Unmanned Reconnaissance Aerial Vehicle*)

URAVs haben die Besonderheit, dass sie eine sehr hohe Reichweite und eine sehr lange Flugzeit haben. Sie dienen dabei primär der Aufklärung. Der von Northrop Grumman produzierte RQ-4 Global Hawk (Abb. 6 rechts) ist mit 35.000 km Überführungsreichweite ein Paradebeispiel dieses UAV-Typs. Die Dienstgipfelhöhe liegt bei 20 km und die maximale Flugzeit bei 36 h.



⁷<http://aerospace.honeywell.com/products/unmanned-aerial-systems/t-hawk-mav>

⁸<http://www.fas.org/irp/program/collect/docs/TUAV-CONOPS.htm>

4. Technik einer UCAV

Die Technik von UAVs soll hier am Beispiel der MQ-1 "Predator" gezeigt und näher erläutert werden. Die Technik der meisten Teilbereiche lässt sich dabei weitgehend auf URUVs und TUUVs übertragen.

Der Hersteller *General Atomics* aus San Diego, CA beschreibt die Predator mit "*Perform over-the-horizon long-endurance, medium-altitude Intelligence, Surveillance and Reconnaissance (ISR) missions.*"⁹. Zu deutsch bedeutet das etwa "Führt hinter dem Horizont Aufklärungs-, Beobachtungs- und Überwachungsmissionen mit langer Flugzeit auf mittlerer Flughöhe durch."



Abb. 7 (oben) zeigt eine General Atomics MQ-1 "Predator" beim Start auf der Ali Air Base im Irak (2008).

Die Entwicklungskosten der MQ-1 lagen bei 2,38 Mrd. USD. Der Stückpreis beträgt 4,03 Mio. USD.¹⁰ Beachten muss man bei der Angabe eines Stückpreises, dass er für die jeweilige Armee in dieser Form normalerweise nicht anfällt, da die Armee meistens ein System kauft, welches die Bodenkontrollstation, Ersatzteile und mehrere UAVs beinhaltet.

4.1 Technische Daten

Die Predator ist 17 m breit und 8 m lang. Die umgekehrten V-Flügel auf Höhe des Propellers stabilisieren die Maschine im Flug und schützen den Propeller bei Start und Landung. Der Motor, ein stark modifizierter Rotax 914 Turbo, ist in seiner Ursprungsversion bei Motorseglern stark verbreitet.

Die Außenhülle der Predator besteht aus Kevlar, Carbon und Quarzfasern. Darunter befindet sich ein Nomex Schaum. Die Flügelenden bestehen aus Titan.¹¹

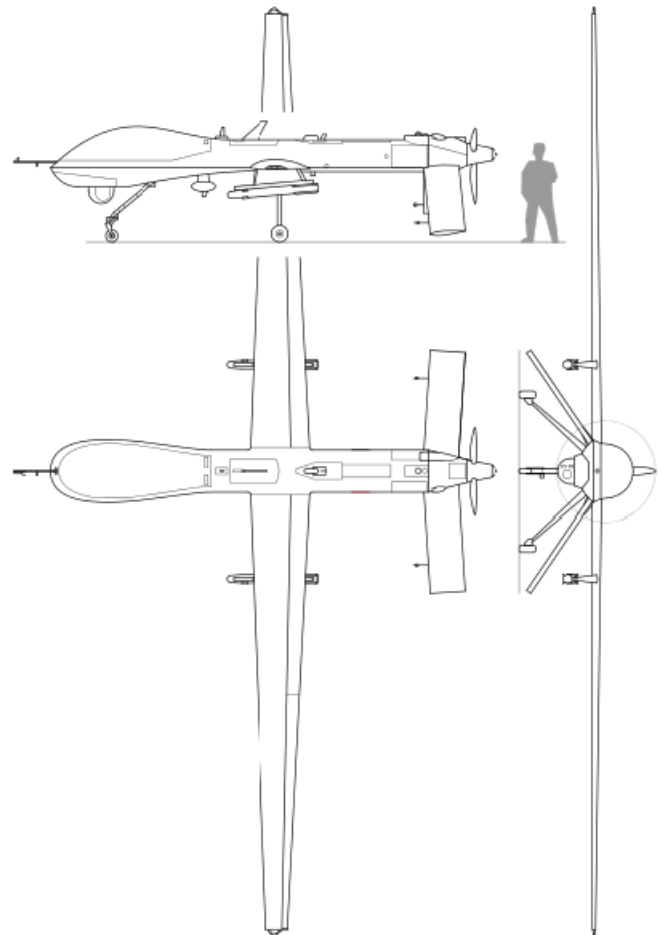
⁹<http://www.ga-asi.com/products/aircraft/pdf/PredatorXP.pdf>

¹⁰<http://www.saffm.hq.af.mil/shared/media/document/AFD-100128-072.pdf>

¹¹<http://science.howstuffworks.com/predator.htm>

Tabelle 1 (unten) listet die wichtigsten Daten der Predator auf.¹² Abb. 8 (rechts neben Tabelle 1) zeigt die Predator im Riss und bietet einen Größenvergleich.

Hersteller	General Atomics Aeronautical Systems Inc.
Flügelspannweite	17 m
Länge	8 m
Antrieb	stark modifizierter Rotax 914 Turbo (4 Zylinder)
Gewicht	leer 512 kg normal ca. 850 kg maximal 1.157 kg
Treibstoffkapazität	284 kg
Nutzlast	intern 204 kg extern 136 kg
Dienstgipfelhöhe	7620 m
maximale Flugzeit	40 h
Geschwindigkeit	Marsch: 180 km/h Maximum: 222 km/h
Funkverbindung	Line-of-Sight: C-Band Over-the-Horizon: Ku-Band SATCOM
Erstflug	1994 ¹³



4.2 Optische Fernerkundungssensoren

Das AN/AAS-52 *Multi-Spectral Targeting System* (Abb. 9 rechts) ist das "Auge" der Predator. Dabei handelt es sich um eine dreh- und schwenkbar gelagerte kugelförmige Apparatur, die mit elektronischen Bauteilen ausgestattet ist. Darunter befinden sich Nacht- und Tagsichtkameras, Scheinwerfer und Laser-Entfernungsmesser.^{14;15} Vergleichbare Sensor-Systeme werden bei diversen UAVs und auch bei normalen Flugzeugen sowie Helikoptern eingesetzt.



¹²<http://www.ga-asi.com/products/aircraft/predator.php>

¹³<http://defense-update.com/products/p/predator.htm>

¹⁴<http://136.142.82.187/eng12/Author/data/2223.docx>

¹⁵https://www.uvsr.org/docs/Raytheon_USA_AN-AAS52.pdf

4.3 Synthetic Aperture Radar (SAR)

Die Predator verfügt über ein *Synthetic Aperture Radar* (SAR), das zur Klasse der abbildenden Radare gehört und ebenfalls zur Fernerkundung verwendet wird. Die Datenprodukte des SAR sind relativ leicht interpretierbar, da sie eine große Ähnlichkeit zu Fotos haben. Gegenüber optischer Fernerkundung besitzt SAR den großen Vorteil, weitgehend witterungsunabhängig zu sein, weil das SAR selbst Mikrowellen aussendet und somit die Beleuchtungsquelle stellt. Aufklärung ist damit also auch bei Bewölkung, Regen oder in der Nacht möglich.

Das SAR nutzt die Bewegung des UAV, um eine große Antenne zu simulieren.¹⁶ Dadurch kann, im Gegensatz zu einem Radar mit einer konventionellen *phased array antenna*, eine relativ hohe Bodenaufklärung erreicht werden.¹⁷ Bewegte Bilder können allerdings nicht aufgenommen werden.

4.4 Bewaffnung

Die Predator verfügt über zwei Außenlaststationen. Mögliche Bewaffnungskonfigurationen sind:

- 2 x AGM-114 Hellfire
- 4 x AIM-92 Stinger
- 6 x Griffin *air-to-surface* Raketen



Abb. 10 (oben) zeigt eine AGM-114 Hellfire Rakete, befestigt an der Außenlaststation einer Predator. Hellfire Raketen sind in der Lage, ein laser-markiertes Ziel autonom zu verfolgen und gewährleisten damit eine hohe Treffsicherheit. Die Zielmarkierung findet mithilfe des Multi-Spectral Targeting Systems statt.

4.5 Datenlink

Die Funkverbindung zwischen UAV und *ground control station* (GCS) wird über C-Band und / oder K_u-Band sichergestellt. Grundsätzlich bestehen drei Verbindungen: *command* (Befehle an die UAV, *uplink*), *control* (Statusinformationen der UAV, *downlink*) und *payload* (Daten der Nutzlast der UAV, *downlink*).

NATO C-Band ist die Bezeichnung für einen Frequenzbereich von 500 bis 1000 MHz. Die Wellenlänge beträgt 600 bis 300 cm.¹⁸ Bei dieser Form des Funks werden in der *ground control station* (GCS) die Befehle durch die Bedienmannschaft eingegeben. Diese werden per Kabel an

¹⁶<http://www.radartutorial.eu/20.airborne/ab07.de.html>

¹⁷http://www.dlr.de/dlr/desktopdefault.aspx/tabid-10382/570_read-431/#gallery/356

¹⁸http://en.citizendium.org/wiki/EU-NATO-US_frequency_bands

das *Ground Data Terminal* (GDT) weitergegeben, von dem aus sie über den *command link* an die UAV gefunkt werden. Die Daten von der UAV werden an das GDT gesendet (*return link*), welches sie an die GCS weitergibt.¹⁹ C-Band wird nur verwendet, wenn in der Luftlinie zwischen GDT und UAV keine Hindernisse liegen (engl.: *line-of-sight*, kurz LOS).

Das K_u -Band hat einen Frequenzbereich von 12 bis 18 GHz bei einer Wellenlänge von 2,5 bis 1,67 cm. Bei der Verwendung des K_u -Bands werden die Daten auf dieselbe Weise wie beim C-Band übertragen. Der einzige Unterschied ist, dass zwischen GDT und UAV noch ein Satellit zwischengeschaltet ist. Die komplette Datenübertragung findet dann von GCS zu GDT über den Satellit zur UAV oder entgegengesetzt statt. Das bedeutet allerdings auch, dass nicht innerhalb von Sekundenbruchteilen Manöver durchgeführt werden können, weil die Zeit zwischen Absenden und Ausführung eines Steuerbefehls etwa 5 s beträgt.

4.6 Sicherheit

Es gibt verschiedene sicherheitserhöhende Konzepte, die im Verbund dafür sorgen, dass es bisher keinen Fall einer UAV-Übernahme oder Störung durch feindliche Kräfte gab.²⁰ In beiden Fällen wäre das Ziel des Angreifers, die Verbindung zwischen GDT und UAV zu manipulieren. Der Begriff Sicherheit lässt sich in zwei Bedeutungen unterteilen, im englischen als *safe and secure* bezeichnet. Zum einen muss die Verbindung sicher aufrecht erhalten bleiben (*safe*), zum anderen muss sie gegen Angriffe geschützt sein (*secure*).

Um eine Störung oder Übernahme des UAV zu verhindern, wird bei einem Sicherheitskonzept ein permanenter Wechsel der Übertragungsfrequenz ausgeführt, bei einem anderen wird das Signal auf einem breiten Frequenzspektrum redundant übertragen. Beide Maßnahmen erschweren einen effektiven Angriff, da eine Störung technisch erheblich aufwändiger ist. Eine weitere Option, die Datenübertragung sicher zu gestalten, besteht darin, dass sowohl das UAV als auch die GCS die Position des anderen genau kennen und nur Funksignale als authentisch einstufen, die exakt aus dieser Richtung gesendet werden.

Eine feindliche Übernahme von UAVs ist auch deshalb äußerst unwahrscheinlich, weil die Befehle und Daten verschlüsselt übertragen werden. Der Schlüssel ändert sich dabei ständig in Intervallen von einigen Sekunden. Falls eine UAV trotzdem ausfallen sollte, z. B. durch ein zu weites Entfernen vom GDT oder durch eine extern bedingte Störung der Datenübertragung, wird ein vor dem Flug einprogrammiertes Schema durchgeführt. Gängige Schemata bei dem deutschen UAS KZO sind:

- In Kreisen immer höher fliegen, bis wieder eine Verbindung existiert. Bei Überschreitung einer festgelegten Höhe landen.
- Zu fest definierten Koordinaten fliegen und dort landen.
- Direkt landen.

Der Sicherheitsaspekt ist nicht nur auf den Datenlink reduziert. Auch ein direkter feindlicher Angriff auf die GCS ist ein denkbare Szenario, gegen das angemessene Schutzmaßnahmen ergriffen werden.

¹⁹<http://info.publicintelligence.net/JSC-04-066.pdf>

²⁰Informationen von Bundeswehrpersonal, erhalten auf der Internationalen Luftfahrttausstellung (ILA) im Mai 2014 in Berlin-Schönefeld

4.7 Steuerung

Die Website des *Air Combat Command* (eines der zehn Hauptkommandos der U.S. Air Force) gibt zur Predator unter anderem folgende Information: “*The MQ-1 Predator is a system, not just an aircraft.*”²¹ Hinter dieser Aussage, zu deutsch etwa “Die MQ-1 Predator ist ein System, nicht nur ein Fluggerät”, verbirgt sich die Information, dass ein MQ-1 System aus vier Fluggeräten, einer GCS, einem GDT, einer permanent verfügbaren satellitengestützten Verbindung (→ 4.5 K_u-Band) und einer 55 Personen umfassenden Mannschaft besteht.²² Ein solches System kann eine 24-stündige Bereitschaft gewährleisten.



Während des Fluges benötigt man mindestens einen *pilot* und einen *sensor operator*. Abb. 11 (oben) zeigt ein solches Zwei-Mann-Team in der GCS. Eine solche GCS muss nicht im Einsatzland liegen. Die U.S. Air Force setzt UAV-Piloten ein, die von den USA aus UAVs in anderen Ländern steuern.²³ Das erspart neben anderen Kosten den hohen Gefahreneinschlag, den Soldaten im Einsatz erhalten. PTBS (Posttraumatische Belastungsstörungen) treten allerdings auch bei diesen Soldaten auf.²⁴

Die Route für einen UAV-Flug wird meist schon im Vorfeld einprogrammiert. Schnelle Eingriffe während des Fluges sind möglich, allerdings nicht in der Form wie bei bemannten Flugzeugen, da Korrekturen erst hochgeladen werden müssen und so eine zeitliche Verzögerung entsteht.²⁵

²¹http://www.acc.af.mil/library/factsheets/factsheet_print.asp?fsID=2352&page=1

²²http://www.acc.af.mil/library/factsheets/factsheet_print.asp?fsID=2352&page=1

²³<http://www.zeit.de/2012/50/Drohnenpilot-Trauma-PTBS>

²⁴<http://io9.com/psychologists-propose-horrifying-solution-to-ptsd-in-dr-1453349900>

²⁵<https://www.youtube.com/watch?v=Ebd9r9EPqtk>

5. Verwendung

In diesem Kapitel wird ein Überblick über Verwendungen von UAVs gegeben. Die bei weitem häufigste ist die militärische (Kap. 5.1), die beispielhaft an der Bundeswehr und den *U.S. Armed Forces* (US-Streitkräfte) vorgestellt wird. Kommerzielle und zivile Anwendungen nehmen gegenwärtig schnell zu; Beispiele dazu zeigen Kap. 5.2 und 5.3, wobei auch die rechtliche Lage in Deutschland und in den USA kurz erläutert wird.

5.1 Militärische Verwendung

5.1.1 Bundeswehr

Die Bundeswehr verfügt über eine große Zahl an UAVs. Tabelle 2 gibt eine Übersicht über den Bestand und die Verluste der Bundeswehr (Stand vom 29. April 2014).²⁶

BEZEICHNUNG	TYP	MERKMALE	BESTAND	VERLUSTE
Mikado	MAV	<ul style="list-style-type: none"> • Quadrocopter • Aufklärung der unmittelbaren Umgebung 	163	5
Aladin	MAV	<ul style="list-style-type: none"> • Start aus der Hand • auch in Verwendung bei der Bundespolizei 	290	33
Luna	TUAV	<ul style="list-style-type: none"> • Katapultstart 	84	56
KZO	TUAV	<ul style="list-style-type: none"> • Raketenstart 	43	18
HUSAR²⁷	TUAV	<ul style="list-style-type: none"> • <i>geplant</i> • <i>soll KZO und Luna ersetzen</i> 	-	-
Heron 1	URAV	<ul style="list-style-type: none"> • Übergangslösung • von Israel Aerospace Industries geleast 	3	3
Euro Hawk	URAV	<ul style="list-style-type: none"> • deutscher Ausstieg aus dem Projekt im Mai 2013 	1	-

Eine Verwendungsform sind Übungen mit Flugabwehrsystemen, z. B. mit dem Patriot-System (Abb. 12, nächste Seite oben rechts, zeigt eine Patriot-System Startstation).²⁸ Hierfür fliegen die UAVs in ein bestimmtes Gebiet, das von dem Luftabwehrsystem überwacht wird, um von diesem erfasst und abgeschossen zu werden. Optional können die UAVs mit Wärmequellen ausgestattet werden, um eine Hitzesignatur zu simulieren. Dies ist unter anderem beim Training mit Stinger Raketen, die mit einem Infrarot-Suchkopf ausgestattet sind, notwendig.

²⁶http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde/!ut/p/c4/NYqxDslwDET_KG6EBA0bURhYWaBsbmsqizapXNMu_XiSgTvpDfcOXpAbceUBIVPEEZ7QdHxuN9NuPZIFhVg_gvRWgkd557VLkbRQKSpnDoKaxMxJdCzmK5KN4R6aygZvT9U_dnfuEPz16Opw83eYp-nyA-BI1Ck/ (Stand 29. April 2014)

²⁷Informationen von Bundeswehrpersonal, erhalten auf der Internationalen Luffahrtausstellung (ILA) im Mai 2014 in Berlin-Schönefeld

²⁸http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde/!ut/p/c4/NYy7CsJAEEX_aDbrA9EuQQSJY3GRibZSRzYRygmSePHuym8F05zuNe8TG7EmQdUTHG9eZqm41O7QLs4gjB55UCOEWWZ2IFC6D8_gp14X7HuClIgfFaaD3prA781j_8q5LkXSIUITOHAQ1CYxJ1K9mEskG2JmmsOfKHop_7Pd4qctbvbX787W6mzGE8gc9GvR2/

In Afghanistan verwendet die Bundeswehr unter anderem Aufklärungs-UAVs zur Überwachung von Patrouillen. Dabei fliegt eine UAV über einem Konvoi von Fahrzeugen und beobachtet, ob Taliban-Kämpfer in Stellung gehen oder ob sich die Bevölkerung auffällig verhält.²⁹ Die feindlichen Kräfte scheinen gegen diese Art der Aufklärung allerdings schon Gegentechniken entwickelt zu haben. So kommt es vor, dass sich die Taliban-Kämpfer vor Infrarot-Kameras tarnen, indem sie sich unter dicken Plastikplanen verstecken.³⁰



Eine große Gefahr für die Soldaten in Afghanistan stellen *improvised explosive devices* (deutsch: unkonventionelle Spreng- und Brandvorrichtungen, kurz IED) dar.^{31;32} In Abb. 13 (unten) sind einige geborgene IEDs zu sehen. Die im Boden vergrabenen Sprengfallen werden z. B. per Druckplatte oder Fernzünder ausgelöst. Die Bundeswehr lässt deshalb nachts Hauptstraßen und wichtige Kreuzungen von UAVs und Scharfschützen überwachen, um frühzeitig zu erkennen, wo IEDs eingegraben werden. Am nächsten Tag werden diese dann von *explosive ordnance disposal* (Kampfmittelbeseitigern, kurz EODs) geräumt.

Der Einsatz von MAVs ist eine gute Möglichkeit für Soldaten, sich ein Lagebild des unmittelbaren Umfelds (mehrere Kilometer) zu schaffen. Die Bundeswehr verwendet MAVs im Kosovo³³ und in Afghanistan.



Bewaffnete UAVs setzt die Bundeswehr nicht ein, diese werden aber von hochrangigen Offizieren gefordert.^{34;35} Auf-

grund der engen Kooperation der *International Security Assistance Force* (ISAF) Kräfte ist die Bundeswehr jedoch in der Lage, UAVs der US-Streitkräfte zur Unterstützung anzufordern.³⁶ Die Bundeswehr selbst hilft der U.S. Air Force bei der Durchführung von UAV-Angriffen.³⁷

²⁹http://www.bundeswehr.de/portal/a/bwde/!ut/p/c4/NyVLCslwEEX_KNOsfOyspeDWClO3ZdoOZTCpkwsiB9vsvBeOJtzLzwh1-GbFxT2Dg08oJ_4OG5q3GZS-JJExlBUmOlwKx2IXUT5wL0882LjyqRQyAlnLgHFB7X6IKaYFEI2imfoK93Uelf9o7-H9nbuWr3XzaW-wmrf6QejeORS/

³⁰<http://www.spiegel.de/politik/ausland/toter-ksk-soldat-bundeswehr-zweifelt-an-kooperation-mit-den-afghanen-a-902297.html>

³¹http://usatoday30.usatoday.com/news/military/2009-04-02-IEDs_N.htm

³²<http://www.einsatz.bundeswehr.de/portal/a/einsatzbw/!ut/p/c4/LYvNCslwEITfKNtA8e9mqYgeC6L1lkmzIqVtUtAtAfHhTcAZGGb4GLhDsjdv6o1Q8GaEG7Qd7WxUNjp8IPmXkU-auT0XHFyweA755IB1waPkFPRCKXs2EIJNgWXMZGFORJGDtB1pddl8Zf-bprz8XBZldv6VDUwT9P-B0ASGW0!/>

³³<https://www.youtube.com/watch?v=OXox-OkPMEw>

³⁴<http://www.berliner-zeitung.de/politik/afghanistan-bundeswehr-fordert-bewaffnete-drohnen,10808018,24755662.html>

³⁵http://www.focus.de/politik/deutschland/umstrittene-flugobjekte-fuer-die-bundeswehr-luftwaffe-dringt-auf-kauf-bewaffneter-kampfdrohnen_aid_809839.html

³⁶http://www.focus.de/politik/ausland/afghanistan/drohnen-einsatz-in-afghanistan-bundeswehr-soll-rebellen-mit-us-drohne-getoetet-haben_aid_941907.html

³⁷<http://www.dw.de/germany-accused-of-aiding-us-drone-strikes/a-17177593>

5.1.2 United States Armed Forces

Die *Armed Forces* der USA verwenden UAVs auf vergleichbare Art wie die Bundeswehr (→ 5.1.1 Bundeswehr), also in den Bereichen Training, Überwachung und Nahbeobachtung (mit MAVs), nur in einem viel größeren Umfang.³⁸ Dazu kommen die Einsatzformen *stealthy aerial assassination* und das Leisten von Luftnahunterstützung (engl.: *close air support*, kurz CAS).³⁹

Unter erstem versteht man die gezielte Zerstörung von Einzelzielen hoher Priorität. Bekannt wurde zum Beispiel die Tötung des Al-Qaida Terroristen Qaed Senyan al-Harhi, der bei dem Anschlag auf den Zerstörer USS Cole der U.S. Navy im Oktober 2000 eine große Rolle gespielt haben soll. Am 3. November 2002 wurde er durch eine Predator der CIA in seinem fahrenden Auto getötet.⁴⁰ Diese Einsatzform steht insbesondere deshalb in der Kritik, weil zivile Opfer kaum zu vermeiden sind. Ein weiteres kritisches Problem sind das Fehlen einer gesicherten Rechtsgrundlage und einer völkerrechtlich orientierten, effektiven Kontrollinstanz. Ein großer militärischer Nachteil ist, dass nicht sicher festgestellt werden kann, ob die Zielperson tatsächlich getötet werden konnte. Dieses Problem schloss diese Form des Einsatzes unter anderem bei der Tötung von Osama Bin Laden aus.⁴¹

CAS steht für die Unterstützung von eigenen oder verbündeten kämpfenden Einheiten durch den Angriff auf feindliche Kräfte in deren Nähe. Diese Art des Einsatzes ist bei den meisten modernen Armeen gängige Praxis und wird derzeit zum Beispiel in Afghanistan angewandt. Eine hohe Präzision ist dabei wegen der oftmals sehr geringen Distanzen zwischen verbündeten und feindlichen Einheiten erforderlich.

Ein neuer UAV-Typ, der z. B. in Afghanistan eingesetzt wird,⁴² ist das von Lockheed Martin hergestellte *Lighter-Than-Air System*. Dabei handelt es sich um ein 35 m langes Luftschiff mit einem Volumen von 2.100 m³. Ausgerüstet mit bis zu 500 kg Zuladung fliegt das Luftschiff, befestigt an mehreren Seilen und Kabeln, die es mit Strom versorgen und die Daten übertragen, auf 1.500 m Höhe, um von dort aus die Umgebung großflächig zu überwachen.⁴³

5.2 Kommerzielle Nutzung

In Deutschland ist die kommerzielle Nutzung von UAVs bislang nur sehr eingeschränkt möglich, da das Luftverkehrsgesetz nur UAVs gestattet, die in Sichtweite (500 m) geflogen werden und unter 25 kg wiegen.⁴⁴ Zusätzlich ist für jeden Einsatz eine Starterlaubnis anzufordern.⁴⁵ Diese gesetzliche Regelung schließt viele Anwendungsformen aus, nicht aber beispielsweise die der Luftfotografie, bei der mit Sichtkontakt geflogen werden kann.

Der Deutschsprachige Dachverband für unbemannte Luftfahrzeuge, UAV DACH e.V.⁴⁶, setzt sich seit Oktober 2000 für Gesetzes- und Ordnungsänderungen ein, welche die kommerzielle Nutzung von UAVs im zivilen Luftraum von Deutschland und weiteren europäischen Ländern vereinfachen sollen. Inzwischen sind 54 Organisationen aus den Bereichen Forschung, Herstellung und Anwendung Mitglieder bei der UAV DACH e.V.

³⁸<http://www.theguardian.com/news/datablog/2012/aug/03/drone-stocks-by-country>

³⁹<http://www.af.mil/News/ArticleDisplay/tabid/223/Article/134151/predator-provides-close-air-support-to-embattled-marines-in-iraq.aspx>

⁴⁰http://news.bbc.co.uk/1/hi/world/middle_east/2404443.stm

⁴¹<http://abcnews.go.com/blogs/politics/2011/05/president-obama-had-authorized-bombing-of-compound-in-march-but-wanting-evidence-of-obls-death-cance/>

⁴²<https://www.youtube.com/watch?v=9ZOKhc8exco>

⁴³<http://www.lockheedmartin.com/content/dam/lockheed/data/ms2/documents/Lighter-Than-Air-brochure.pdf>

⁴⁴<http://www.tagesspiegel.de/politik/drohneneinsatz-im-inland-die-fliegenden-augen/8492908.html>

⁴⁵http://www.gesetze-im-internet.de/luftvo/_16.html

⁴⁶<http://www.uavdach.org/>

Für die kommerzielle Nutzung gibt es zahlreiche Anwendungsideen:⁴⁷

- Überwachungsaufgaben (Landwirtschaft⁴⁸, Industrieanlagen, Nachrichten, Gefahrgüter, Wetter, Staatsgrenzen, Bau und Baufortschritt, Waldbrände, Wildbestände, Aufspüren von Wilderern⁴⁹, Innenräume)
- Such- und Rettungseinsätze, Katastrophenhilfe (Feuerwehr, DLRG, DRK, THW)
- Transportdienste
- Luftfotografie, Luftbildvermessung
- Energiewirtschaft
- Raum- und Stadtplanung
- Mobilfunksysteme (Planung, Inspektion)
- Land-, Forstwirtschaft
- Wasser-, Abfallwirtschaft
- Gebäudevermessung
- Natur-, Tierschutz



Ein Beispiel für eine kommerzielle Verwendung von UAVs ist die Stuttgarter Firma *aerpixx*. Sie hat sich darauf spezialisiert, von UAVs aus Luftaufnahmen anzufertigen. Als Anwendungsbereiche nennt das 2010 gegründete Unternehmen unter anderem Inspektionen, Dokumentationen von Bauvorhaben, Gutachten, Schadensdokumentation, Denkmalpflege, Immobilien Aufnahmen, Event-Marketing oder Landschaftsaufnahmen.⁵⁰ Die obige Abb. 14 zeigt einen Multikopter, den *aerpixx* mit Kameras ausstattet.

In den USA ist die kommerzielle Nutzung von UAVs (Stand 18. Mai 2014) verboten. Das soll sich jedoch bald ändern.⁵¹ Große Firmen zeigen sich in Bezug auf Investitionen in die UAV-Technologie von diesem Verbot weitgehend unbeeindruckt. Am 15 April 2014 hat beispielsweise der US-amerikanische Konzern Google den Spezialdrohnen-Hersteller *Titan Aerospace* aufgekauft.⁵²

Auch Facebook hatte Interesse an dieser Firma, weil dann eine Technologie zur Verfügung gestanden hätte, mit deren Hilfe das Internet in entlegene Gegenden gebracht werden kann.⁵³ Diese Spezial-UAVs fliegen in etwa 20 km Höhe und können ohne Pause bis zu fünf Jahre in der Luft bleiben.⁵⁴ Die nötige Energie gewinnen die beiden Modelle Solara 50 und Solara 60 (die Zahl steht für die Flügelspannweite in Metern) aus 3.000 Solarmodulen, die auf den Flügeln, dem Seitenruder und dem Höhenruder platziert sind. Lithium-Ionen-Akkus versorgen diese UAVs bei Nacht. Ihre Nutzlast liegt bei 100 kg, und die Auslieferung soll Sommer 2014 beginnen.⁵⁵ Als

⁴⁷<http://www.boston.com/business/2014/03/14/commercial-uses-for-drones/dscS47PsQdPneIB2UQeY0M/story.html>

⁴⁸<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Drohnen-fuer-die-Landwirtschaft-2189606.html>

⁴⁹<http://www.cbc.ca/news/technology/drones-work-the-skies-for-police-scientists-media-1.1237009>

⁵⁰<http://ows.aerpixx.de/anwendungen>

⁵¹<http://futurezone.at/digital-life/usa-drohnen-sollen-fuer-kommerzielle-zwecke-erlaubt-werden/66.033.678>

⁵²<http://www.gmx.net/themen/digitale-welt/internet/98b7fua-google-kauft-drohnen-hersteller-internet-versorgung>

⁵³<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Drohnen-Satelliten-und-Laser-Facebooks-Plan-fuer-ein-Internet-fuer-alle-2156902.html>

⁵⁴<http://www.heise.de/newsticker/meldung/Google-kauft-Drohnenfirma-Titan-Aerospace-2169949.html>

⁵⁵Mittelbach, E.C. (2013): Solardrohnen als Wetterbeobachter. *Technology Review* 10/2013, S. 16.

denkbare Einsatzbereiche nennt der Hersteller Titan Aerospace u.a. "Weather Monitoring, Border Patrol, Pipeline Monitoring, Fire Monitoring, Atmospheric Monitoring, Search & Rescue".⁵⁶

Ein anderes Beispiel stellt eine zukünftige Anwendung beim Transport von kleinen Paketen dar. Der Online-Versandhändler Amazon hat *PrimeAir*, einen Service zur Auslieferung von Paketen per UAV, vorgestellt⁵⁷. Die Website merkt hierzu an: "It looks like science fiction, but it's real. From a technology point of view, we'll be ready to enter commercial operations as soon as the necessary regulations are in place."⁵⁸ Abb. 15 (rechts) zeigt eine *PrimeAir* Paket-UAV in der Luft.



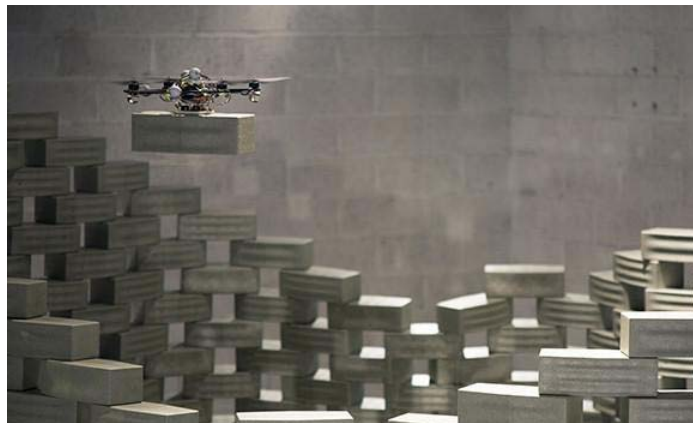
Ähnliche Pläne hat die Zulieferfirma DHL. Sie entwickelt Pläne, kleine Inseln per Drohne mit Post zu beliefern.

5.3 Private Verwendung

Bei privater Verwendung von UAVs in Deutschland gelten folgende Regeln:

- Das Fluggerät muss in Sichtweite (500 m) fliegen.
- Das Fluggerät darf höchstens 100 m hoch fliegen.
- Das Fluggerät darf nicht über Menschen fliegen.
- Eine Start- und Landeerlaubnis muss vom jeweiligen Grundstückseigentümer eingeholt werden.
- Ein Sicherheitsabstand zu Flughäfen ist einzuhalten.
- Während des Fluges muss es permanent möglich sein, die UAV zu steuern.⁵⁹ Das bedeutet dass nur die Verwendung von RPAS gestattet ist.
- Eine Starterlaubnis muss bei den Behörden nur dann eingeholt werden, wenn das RPAS nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung verwendet wird, faktisch sind das die meisten privaten Flüge.

Einige außergewöhnliche, eher künstlerische Drohnen-Projekte präsentiert Prof. Raffaello D'Andrea von der ETH Zürich auf seiner Website.⁶⁰ *Flight assembled architecture* ist eines davon, bei dem ein Bausteinturm von mehreren autonomen UAVs gebaut wurde. Abb. 16 (rechts) zeigt eine UAV beim Bau des 6 m hohen Turms mit 3,5 m Durchmesser. Andere Videos zeigen Drohnen bei Formationsflügen oder beim balancieren eines Metallstabs im Flug.



⁵⁶http://titanaerospace.com/wp-content/media/SOLARA50_BROCHURE_EMAIL.pdf

⁵⁷<https://www.youtube.com/watch?v=98Blu9dpwHU>

⁵⁸http://www.amazon.com/b?ref_=tsm_1_yt_s_amzn_mx3eqp&node=8037720011

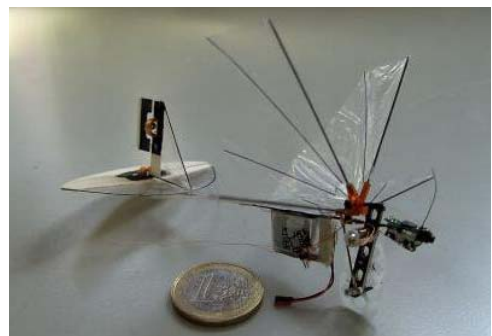
⁵⁹<http://www.gmx.net/themen/wissen/mensch/84az52c-drohnen-duerfen>

⁶⁰<http://raffaello.name/dynamic-works/>



Adam Klaptoz hat mit dem Verein *Drone Adventure* das Matterhorn in 3D vermessen. Dazu nahm die UAV zuerst fast 2200 Fotos⁶¹ des Geländes aus zahlreichen Perspektiven auf. Anschließend wurden mit Hilfe einer Auswertungssoftware aus den Bildern und den GPS-Lagedaten 3D Modelle erstellt, im Falle des Matterhorns auf eine durchschnittliche Genauigkeit von 20 cm.⁶² Abb. 17 (oben) und 18 (links) zeigen die UAV beim Start und im Flug.

Das holländische *DeIFly project* (eines von vielen Projekten des MAV Lab der Delft University of Technology) hat sich zum Ziel gesetzt, eine kleine, flügel-schlagende und autonome MAV zu bauen. Der *DeIFly Explorer* ist die erste autonom fliegende MAV mit Flügel-schlag. Den elf beteiligten Studenten ist es gelungen, die MAV autonom und ohne Kollisionen durch einen Raum fliegen zu lassen. Das Gewicht liegt bei 20 g, und die Flugzeit ist aufgrund des Akkus auf 9 min limitiert.⁶³ Die Höchstgeschwindigkeit liegt bei 25 km/h. Eine besonders große Herausforderung stellte die Kollisions-vermeidung dar. Die Studenten haben dieses Problem mit zwei Kameras und einem selbstgebaute Controller (Taktfrequenz: 168 MHz; Arbeitsspeicher 192 KB) gelöst.⁶⁴ Der *DeIFly Micro* (2008) ist eine ältere, aber wesentlich leichtere Version mit einem Gesamtgewicht von 3,08 g. Abb. 19 (rechts) zeigt ihn im Größenvergleich mit einer 1 € Münze. Die Flügel schlagen maximal 3 min lang mit einer Frequenz von 30 Hz. Die Flugreichweite liegt bei 50 m.⁶⁵ Eine Echtzeit-Übertragung der Bilder ist bei beiden Modellen nicht möglich.



⁶¹<https://www.sensefly.com/user-cases/mapping-the-matterhorn.html>

⁶²Verlag Heinz Heise. *Technology Review* 04/2014 (Seite 25 f.). Drohne stets zu Diensten.

⁶³<http://www.delfly.nl/explorer.html>

⁶⁴Pontes, U. (2014): Drohne stets zu Diensten. *Technology Review* 04/2014, S. 29.

⁶⁵<http://www.delfly.nl/micro.html>

6. Schlussbemerkungen

UAVs sind eine faszinierende Technik, die aufgrund der Miniaturisierung und des schnellen Performance Zuwachses der Computertechnik im beginnenden 21. Jahrhundert einen zuvor kaum vorstellbaren Aufschwung in militärischen und zivilen Bereichen erfährt.

Bei der militärischen Anwendung liegt die Hauptaufgabe bei der Luftüberwachung (das Gewinnen eines guten Überblicks über die Situation im Gelände). Dadurch wird die Sicherheit der eigenen Soldaten erheblich verbessert und die Chance auf eine erfolgreiche Durchführung der militärischen Aufgabe steigt sich. Die Möglichkeit der Fernsteuerung über Satellit erlaubt zudem, weniger Personal direkt in den Krisengebieten einzusetzen, was neben der Sicherheit und familiären Vorteilen für die betroffenen Soldaten auch finanzielle Einsparungen für das Militär bringt.

Die militärische Option, mit Hilfe von UCAVs Menschen zu töten, ist völkerrechtlich bedenklich und politisch höchst umstritten. Dass solche Verwendungen von UCAVs in der Praxis stattfinden, sei hier erwähnt. Eine politische Debatte, ob das Töten von einzelnen (feindlichen) Anführern, die ihrerseits beabsichtigen, zahlreiche Menschen und Sachwerte der eigenen Nation zu zerstören, sinnvoll und richtig oder barbarisch und rechtswidrig ist, war hingegen nicht Teil dieser Arbeit, welche schwerpunktmäßig die Technik von UAVs beschreibt.

Die kommerzielle und private Anwendung befindet sich gegenwärtig in einer sehr innovativen und zukunftssträchtigen Phase. Hier dürfte in Deutschland nach der schon bald zu erwartenden Anpassung des Luftrechts an die Möglichkeiten der modernen Technik ein weiterer Innovationschub folgen. Die Verwendungsideen reichen von Überwachungs- und Vermessungsaufgaben bis hin zur Katastrophenhilfe (→ Kap. 5.2 Kommerzielle Nutzung). Insbesondere für Studenten und Berufsanfänger bietet sich hier ein neues, hochinteressantes Betätigungsfeld.

Quellenverzeichnis

Internetquellen zu spezifischen Informationen sind direkt im Text als Fußnoten angegeben. Der Abruf aller genannten Webseiten erfolgte im Mai 2014.

Ein allgemeiner Themenüberblick über UAVs wurde folgenden Büchern und Schriften entnommen:

- Laumanns, H. (2012): Typenkompass Drohnen. 1. Auflage. Motorbuch Verlag, Stuttgart. <http://www.motorbuch-verlag.de/>
- van Blyenburgh, P. (Editor) (2013): RPAS: The Global Perspective. 2013/2014, 11th Edition, Blyenburgh & Co., Paris, Frankreich. <http://www.uvs-info.com>
- Zaloga, S.J. (2008): Unmanned Aerial Vehicles. Osprey Publishing Ltd., Wellingborough, Northants, Großbritannien. <http://www.ospreypublishing.com/>

Abbildungsnachweis

Die Verwendung der Abbildungen erfolgte, sofern erforderlich, mit Genehmigung des jeweiligen Rechteinhabers.

- Titel http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/89/MQ-9_Reaper_UAV.jpg
1. <http://cdn.firespring.com/images/ade23a05-7aca-440e-b96f-c4d1e0622762.jpg>
 2. http://en.wikipedia.org/wiki/File:QH-50_DD-692_1967.jpg
 3. <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MicroAirVehicle.jpg>
 4. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:LUNA_German_UAV.jpg
 5. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:MQ-1_Lethal_Presence_.jpg
 6. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:RQ-4_Global_Hawk.jpg
 7. http://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-1B_Predator_unmanned_aircraft.jpg
 8. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Predator_MQ-1B.svg
 9. http://media.defenceindustrydaily.com/images/ELEC_AN-AAS-52_MTS_lg.jpg
 10. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:AGM-114_Hellfire_hung_on_a_Predator_drone.JPG
 11. http://en.wikipedia.org/wiki/File:MQ-1_Predator_controls_2007-08-07.jpg
 12. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Patriot_missile_launch_b.jpg
 13. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:IED_Baghdad_from_munitions.jpg
 14. <http://www.aerpixx.de/technik/multikopter>
 15. http://www.amazon.com/b?ref_tsm_1_yt_s_amzn_mx3eqp&node=8037720011
 16. <http://raffaello.name/projects/flight-assembled-architecture/>
 17. <https://www.sensefly.com/home.html>
 18. <https://www.sensefly.com/home.html>
 19. <http://www.delfly.nl/micro.html>

Danksagung

Mein besonderer Dank geht an Bernhard Freiherr von Bothmer, Vorstandsvorsitzender der UAV Dach e.V., für seine freundliche Gesprächs Auskunft auf der ILA 2014 in Berlin.

Onlineverfügbarkeit

Eine PDF Version der Ausarbeitung steht auf <http://www.simssso.de/?weiterleitung=UAV> zum Download für Sie bereit.