
DIPLOMARBEIT

Herr
Christian Seiwald

**Unbemannte Luftfahrzeuge:
Ein Überblick über aktuelle
Technologien und zukünftiges
Einsatzpotenzial unter
Berücksichtigung von
Kostenaspekten**

Mittweida, 2013

Fakultät Wirtschaftswissenschaften

DIplomarbeit

Studiengang:
Wirtschaftsingenieurwesen

Erstprüfer:
Prof. Dr. rer. oec. Johannes Stelling

Zweitprüfer:
**Prof. Diplom-Kaufmann Dr. rer. pol. Andreas
Hollidt**

Einreichung:
Wien, 24. Mai 2013

Inhalt

1 Einleitung.....	4
2 Unbemannte Luftfahrzeuge	6
2.1 Definition und Einteilung	6
2.1.1 Definition	6
2.1.2 Einteilung der UAV's.....	6
2.1.2.1 High Altitude Long Endurance - Unmanned Aerial Vehicle (HALE-UAV)	7
2.1.2.2 Medium Altitude Long Endurance – Unmanned Aerial Vehicle (MALE-UAV)	8
2.1.2.3 Tactical Unmanned Aerial Vehicle (TUAV).....	9
2.1.2.4 Mini Unmanned Aerial Vehicle (MUAV).....	10
2.1.2.5 Micro Unmanned Aerial Vehicle (MAV)	11
2.2 Geschichte der unbemannten Luftfahrt.....	12
2.3 Technische Meilensteine und ihr Einfluss auf die Entwicklung von Drohnen..	19
3 Analyse von bestehenden Märkten	21
3.1 Zivile Einsatzgebiete	23
3.1.1 NASA Dragon Eye UAV zur Vulkanerforschung.....	25
3.1.2 Shadohawk UAS im Polizeieinsatz.....	30
3.1.3 Vanguard Defence und ISR Group fördern UAS Einsätze	31
3.1.4 Projekt zur Echt-Zeit-Kartierung der Universität von Utah	33
3.2 Militärische Einsatzgebiete.....	35
4 Erzielbare Autonomie von Systemen.....	36
5 Erfüllung der Kriterien zur Zulassung von Drohnen	41
5.1 Gegenwärtige Zertifizierungsmechanismen für UAS.....	41
5.2 Die Situation in Europa	42
5.3 Betrieb und Eingliederung in den zivilen Luftraum	43
6 Kostenfaktoren	50

6.1 Kosten-Nutzen-Analyse von bereits etablierten Systemen	50
6.2 Definition des Return on Investment (ROI)	51
6.3 Bewertung verschiedener Marktbearbeitungsstrategien anhand eines ROI- Tools	52
I Abkürzungsverzeichnis.....	68
II Literaturverzeichnis.....	71
III Selbstständigkeitserklärung.....	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Global Hawk	7
Abbildung 2: Predator B.....	8
Abbildung 3: Boeing X-45.....	8
Abbildung 4: Eagle II	9
Abbildung 5: Predator A.....	9
Abbildung 6: Schiebel S-100	10
Abbildung 7: EMT ALADIN	11
Abbildung 8: MEMS Robofly.....	11
Abbildung 9: MEMS Robofly.....	12
Abbildung 10: Hewitt Sperry Automatic Airplane	13
Abbildung 11: Curtiss-Sperry Aerial Torpedo	13
Abbildung 12: OQ-2A	14
Abbildung 13: SD-1	15
Abbildung 14: Ryan Modell 147.....	16
Abbildung 15: QH-50 DASH	16
Abbildung 16: D-21 Tagboard.....	17
Abbildung 17: TU-141.....	17
Abbildung 18: CL-89.....	18
Abbildung 19: Jährliche Ausgaben des US Verteidigungsministeriums für unbemannte Luftfahrzeuge (eigene Darstellung).....	22
Abbildung 20: Jährliche Ausgaben in Europa (eigene Darstellung).....	23
Abbildung 21: 3 Drag Eye UAV's, Hintergrund: Turrialba Vulkan	25
Abbildung 22: Aufgezeichneter Flugweg	27
Abbildung 23: AMES-Wissenschaftler Rick Kolyer startet das Dragon Eye UAV	28
Abbildung 24: Shadowhawk UAS des Büros des Sheriffs von Montgomery County.	30
Abbildung 25: Shadowhawk UAS	32
Abbildung 26: Das Nurflügel-UAV von AggieAir	34
Abbildung 27: AggieAir Flying Circus	35
Abbildung 28: Formel ROI	51
Abbildung 29: Screenshot des Modellierungstools	58
Abbildung 30: Gegenwärtige Komplexität des Modellierungstools	60
Abbildung 31: Design des Bezugssystems des Tools	62
Abbildung 32: Primäre UAV-Komponenten	63

Abbildung 33: Die Beziehung der Innovations-Schlüsselfaktoren zum Gesamtumsatz	64
Abbildung 34: Die vier Geschäftsmodelle für UAV-Angebote.....	65
Abbildung 35: Integration der Faktoren in das Bezugssystem des Tools	67

1 Einleitung

Das Thema Drohnen/unbemannte Luftfahrzeuge ist wesentlich älter als die meisten Menschen glauben würden, dennoch ist das Gebiet brisanter denn je. Da die technischen Möglichkeiten zu Beginn des 20. Jahrhunderts sehr beschränkt waren, gab es auch für Drohnen prinzipiell noch wenig - überwiegend militärische - Verwendung. Diese Arbeit soll verdeutlichen, wie sich der technische Fortschritt und analog dazu die Einsatzgebiete, aber auch Herausforderungen im Laufe der Zeit entwickelt haben. Einerseits üben unbemannte Luftfahrzeuge gegenwärtig wichtige Aufgaben in der Wissenschaft aus, andererseits finden sie auch bei Militärs in noch nie da gewesenem Ausmaße Verwendung. Letzteres wirft viele moralische und rechtliche Fragen auf, die es gegenwärtig zu klären gilt. Allgemein wird der Branche eines der größten Wachstumspotentiale der heutigen Zeit und damit einhergehend ein immenses Investitionsvolumen prognostiziert. Da allerdings, wie erwähnt, viele rechtliche Rahmenbedingungen noch nicht existieren, bzw. sich erst in der Entstehungsphase befinden, verhalten sich selbst große Unternehmen wie Boeing sehr zurückhaltend, zumindest bei der Bearbeitung des derzeit noch verhältnismäßig kleinen zivilen Markts für Drohnen. Der Entwicklungsstand auf dem Gebiet der Antriebs-, Regelungs-, sowie der Mikroprozessortechnik und einigen anderen Bereichen beflügelt den Geist vieler Ingenieure und Wissenschaftler, was auch anhand der Vielzahl wissenschaftlicher Drohnenprojekte an Universitäten und Hochschulen erkennbar ist. Auch die Zahl der kleinen Hersteller für alle Arten von unbemannten Luftfahrzeugen, von der Quadcopter-basierten Kameraplattform bis hin zu Dienstleistungsanbietern für Landvermessungs- oder Wetterbeobachtungsaufgaben geht weltweit in die Hunderte.

Abseits der Strategien kommerzieller Anbieter von UAV's geht diese Arbeit darüber hinaus auch auf allgemeine rechtliche Grundlagen für die Zulassung und den Betrieb von UAV's ein, da diese die Basis für den Erfolg am Markt darstellen und durch sie die derzeit herrschende allgemeine Zurückhaltung am zivilen Drohnenmarkt - zumindest teilweise - begründet ist.

Trotz der vielen offenen Fragen gibt es schon einige zivile Organisationen, die Drohnen bereits heute erfolgreich und mit offizieller Genehmigung einsetzen. Auch auf diese geht die vorliegende Arbeit an Hand einiger Beispiele ein.

2 Unbemannte Luftfahrzeuge

Nach einer Definition der Begrifflichkeiten wird im folgenden Kapitel vor allem auf die Einteilung von unbemannten Luftfahrzeugen eingegangen. Diese werden anhand verschiedenster Kriterien wie beispielsweise Einsatzgebiete und Reichweite vorgestellt. Danach erfolgt eine Darstellung der Geschichte von UAV's von den ersten Versuchen bis hin zu modernen Systemen sowie eine Beschreibung von technischen Meilensteinen und deren Einfluss auf die Entwicklung.

2.1 Definition und Einteilung

Nach einer kurzen Definition des Begriffs „unbemannte Luftfahrzeuge“ widmet sich dieses Kapitel deren Einteilung, insbesondere bezieht es sich auf deren Reichweite und Einsatzgebiete.

2.1.1 Definition

Unbemannte Luftfahrzeuge sind Flugzeuge in Starr- oder Drehflügelausführung oder leichter-als-Luft-Luftfahrzeuge mit der Fähigkeit, ohne an Bord befindlicher Besatzung zu fliegen. Das unbemannte Luftfahrzeug besteht aus dem Flugzeug und der integrierten Ausrüstung (Triebwerk, Avionik, Kraftstoff, Navigation und Datenübertragung), die zur Durchführung des Fluges notwendig ist.¹

2.1.2 Einteilung der UAV's

Es gibt zwar noch keine standardisierten Typenbezeichnungen, trotzdem kann man militärische UAV's anhand von Einsatzgebieten und Reichweite sowie der Einsatzhöhe in die fünf Kategorien High Altitude Long Endurance - Unmanned Aerial

¹ Vgl. <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap%202010%202035.pdf> S. 8 (aufgerufen am 06.02.2013).

Vehicle (HALE-UAV) Medium Altitude Long Endurance – Unmanned Aerial Vehicle (MALE-UAV) Tactical Unmanned Aerial Vehicle (TUAV) Mini Unmanned Aerial Vehicle (MUAV) Micro Unmanned Aerial Vehicle (MAV) einteilen:²

2.1.2.1 High Altitude Long Endurance - Unmanned Aerial Vehicle (HALE-UAV)

Diese UAV's werden in Höhen über 15.000 m eingesetzt und besitzen die Fähigkeit, mitunter länger als 24 Stunden ununterbrochen in der Luft zu sein. Sie werden hauptsächlich für taktische Aufklärungszwecke eingesetzt und dienen in Kombination mit bestehender Satelliten-Infrastruktur, bzw. als Ersatz für diese. Gegenwärtig gibt es zwei Hauptvertreter dieser Klasse, die *Predator (B)* mit einem Maximum Take off Weight (MTOW) von 3 t und *Global Hawk* mit MTOW von etwa 12 t.³



Abbildung 1: Global Hawk⁴

² Vgl. Schieh H. B. (2010) S. 8.

³ Vgl. Schieh H. B. (2010) S. 9.

⁴ Quelle: <http://endthelie.com/wp-content/uploads/2013/01/USAF-Global-Hawk-in-flight.jpg> (aufgerufen am 06.02.2013).



Abbildung 2: Predator B⁵

2.1.2.2 Medium Altitude Long Endurance – Unmanned Aerial Vehicle (MALE-UAV)

Wie bei den HALE-UAV's liegt hier die Einsatzdauer ebenfalls bei über 24 Stunden, sie operieren aber in Höhen zwischen 5.000 m und 15.000 m. Sie werden hauptsächlich für Aufklärungszwecke, aber auch als Unmanned Combat Aerial Vehicle (UCAV) verwendet und kommen ebenfalls bewaffnet zum Einsatz. Das US-amerikanische System *Predator (A)* (MTOW 2,5 t) und das europäisch-israelische System *Eagle II* (MTOW 3,6 t) gehören zu dieser Gruppe. Das System Boeing X-45 ist ebenfalls dieser Gruppe angehörig, es befindet sich allerdings noch in der Testphase und wird hauptsächlich als Kampfflugzeug eingesetzt werden.⁶



Abbildung 3: Boeing X-45⁷

⁵ Quelle: http://www.uasvision.com/wp-content/uploads/2012/09/Predator_B.jpg (aufgerufen am 06.02.2013).

⁶ Vgl. Schieh H. B. (2010) S. 9.

⁷ Quelle: http://www.globalsecurity.org/military/systems/aircraft/images/x-45a_050201-f-0000w-001.jpg (aufgerufen am 06.02.2013).



Abbildung 4: Eagle II⁸



Abbildung 5: Predator A⁹

2.1.2.3 Tactical Unmanned Aerial Vehicle (TUAV)

TUAV's werden in Höhen zwischen 1.000 m und 6.000 m eingesetzt und haben eine Einsatzdauer von einer bis zu sechs Stunden. Im Gegensatz zu HALE- und MALE-UAV's, die mit konventionellen Antrieben aus der allgemeinen Luftfahrt ausgestattet sind und auf befestigten Pisten starten und landen, basieren TUAV's auf verschiedensten Antriebskonzepten, sowie Methoden den Einsatz durchzuführen. Die Vielzahl an Konzepten in diesem Sektor lässt auch vermuten, dass zukünftige Innovationen hauptsächlich hier zu finden sein werden.¹⁰

⁸ Quelle: http://media.defenseindustrydaily.com/images/AIR_UAV_Heron_Harfang_SIDM_lg.jpg (aufgerufen am 06.02.2013).

⁹ Quelle: <http://www.army-technology.com/projects/rq1-predator/images/predator4.jpg> (aufgerufen am 06.02.2013).

¹⁰ Schieh H. P. (2010) S. 10.

Die Luftnahaufklärung ist die Hauptaufgabe der TUAV's, daher sind Bodentruppen im Gegensatz zur Luftwaffe Hauptbetreiber dieser Kategorie. „Im Hinblick auf die im Bereich der UAV's generell herrschende Vormachtstellung von US-amerikanischen Luftfahrzeugunternehmen ist erwähnenswert, dass es einem österreichischen Unternehmen gelungen ist, ein UAV zu entwickeln, das - sowohl im zivilen, aber vor allem auch im militärischen Bereich – höchste Anerkennung findet und unter anderem bei den US-amerikanischen Streitkräften zum Einsatz gelangt.“¹¹



Abbildung 6: Schiebel S-100¹²

2.1.2.4 Mini Unmanned Aerial Vehicle (MUAV)

Da diese eine wesentlich geringere Abflugmasse (bis ca. 20 kg) als oben beschriebene UAV's besitzen und damit die Möglichkeit nicht gegeben ist beispielsweise Datenlink-Ausrüstung mitzuführen, ist ihre Einsatzhöhe auf ca. 250 m und die Reichweite auf rund 10 km beschränkt.¹³

Diese UAV's werden vor allem für Nahaufklärungszwecke auf Gefechtsfeldern verwendet. Sie sind in der Regel durch eine einzige Person zu bedienen. Das System *ALADIN* (**A**bbildende **L**uftgestützte **A**ufklärungs **D**rohne **I**m **N**ächstbereich) ist ein typischer Vertreter dieser Klasse und wird von der deutschen Bundeswehr eingesetzt.¹⁴

¹¹ Schieh H. P. (2010) S. 10ff.

¹² Quelle: <http://www.unmanned.co.uk/wp-content/uploads/2000/08/camcopter-s100.jpg> (aufgerufen am 06.02.2013).

¹³ Vgl. Schieh H. P. (2010) S. 10.

¹⁴ Vgl. Schieh H. P. (2010) S. 11.



Abbildung 7: EMT ALADIN¹⁵

2.1.2.5 Micro Unmanned Aerial Vehicle (MAV)

„Mit einem Gewicht von teilweise unter 80 g und Ausmaßen in der Größe einer Euro-Münze eignen sich diese Systeme auf Grund der Windanfälligkeit und der beschränkten Reichweite weniger für die militärische Aufklärung, dafür aber für die Aufklärung in Gebäuden oder zur Personenüberwachung. Dementsprechend finden sich solche Systeme vor allem bei Geheimdiensten und Sondereinsatzkräften. Als beispielhafter Vertreter dieser Klasse sei hier die an der Harvard-University entwickelte *MEMS Robofly* genannt.“¹⁶

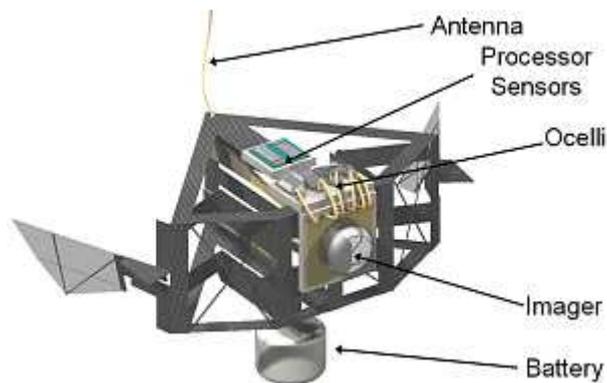


Abbildung 8: MEMS Robofly¹⁷

¹⁵ Quelle: <http://www.army-technology.com/projects/emt-aladin-uav/images/1-emt-aladin-unmanned.jpg> (aufgerufen am 06.02.2013).

¹⁶ Schieh H. (2012), S. 11.

¹⁷ Quelle: http://hp.kairaven.de/bigb/mav/robofly1_2004.jpg (aufgerufen am 06.02.2013).

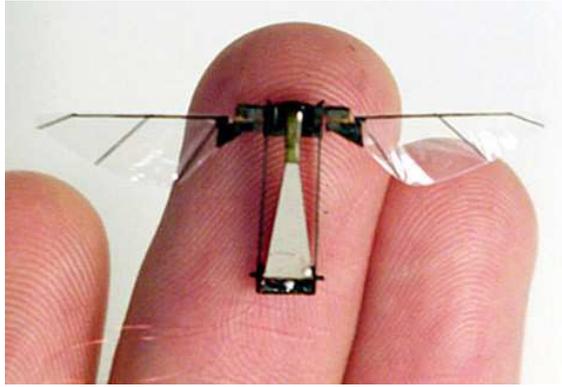


Abbildung 9: MEMS Robofly¹⁸

2.2 Geschichte der unbemannten Luftfahrt

Die bemannte Luftfahrt gelang erstmals im späten 18. Jhdt. und es dauerte noch weitere hundert Jahre, bis sich ein „schwerer als Luft“ Luftfahrzeug in den Himmel erhob. Unbemannte Flugzeuge folgten bald danach um die Zeit des 1. Weltkrieges. Die Idee für eine Flugmaschine ist schon wesentlich älter, vor ca. 2500 Jahren beschäftigten sich schon die alten Griechen und Chinesen mit dieser Thematik. Pythagoras, Archimedes und andere studierten die mögliche Verwendung von autonomen Mechanismen für verschiedene Anwendungen. Die erste bekannte autonome Flugmaschine wird Archytas von Tarantas in Süditalien zugeschrieben. Archytas baute einen mechanischen Vogel, den er „die Taube“ nannte. Überlieferungen von Cornelius Gellius zu Folge war der Apparat aus Holz konstruiert, mit Gewichten ausgewogen und nutzte im Rumpf gespeicherte Luft (wahrscheinlich Wasserdampf) als Antrieb.¹⁹

Im Jahre 1916, etwas mehr als ein Jahrzehnt nach dem ersten bemannten Flug der Gebrüder Wright, wurde das erste moderne unbemannte Luftfahrzeug demonstriert. Es war das nach seinen Entwicklern benannte Hewitt-Sperry Automatic Airplane. Dieses Flugzeug hätte nicht ohne die Vorarbeit Sperry's, der mit Hilfe gyroskopischer

¹⁸ Quelle: <http://i2.wp.com/www.interactivearchitecture.org/2008/robotfly.jpg> (aufgerufen am 06.02.2013)

¹⁹ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 11ff.

Vorrichtungen für die nötige Stabilität im Flug sorgen, realisiert werden können. Sperry schaffte es, das Interesse der U.S. Navy zu wecken, was zur Entwicklung des „Curtiss-Sperry Aerial Torpedo“ führte. Zur selben Zeit finanzierte die U.S. Army Airforce den „Liberty Eagle Aerial Torpedo“, der von Charles Kettering entwickelt wurde.²⁰

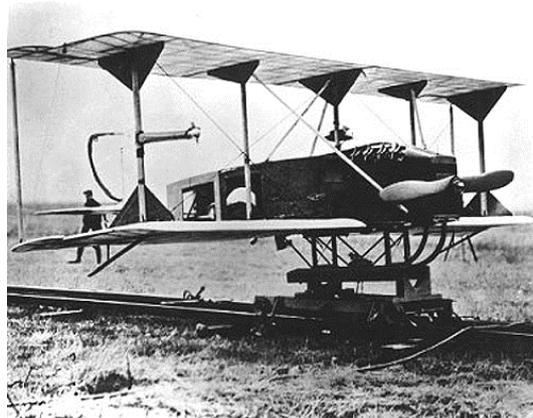


Abbildung 10: Hewitt Sperry Automatic Airplane²¹



Abbildung 11: Curtiss-Sperry Aerial Torpedo²²

Wegen technischer Probleme und mangelnder Genauigkeit verlor man bald das Interesse an den „automatischen“ Flugzeugen, aber man gelangte zu der Erkenntnis,

²⁰ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 14ff.

²¹ Quelle: <http://s3-blogs.mentor.com/jvandomelen/files/2012/06/SperryATorpedo1918.jpg> (aufgerufen am 05.02.2013)

²² Quelle: http://www.bredow-web.de/US_Air_Force/Erster_Weltkrieg/Kettering_Aerial_Torpedo_Bug/Kettering_Aerial_Torpedo_Bug.jpg (aufgerufen am 05.02.2013)

dass das Potential ferngesteuerter Drohnen groß war. In Großbritannien wurden während der 20er Jahre Experimente mit der RAE 1921 Zieldrohne durchgeführt. Dabei handelte es sich um einen modifizierten Doppeldecker vom Typ DeHavilland Tiger Moth, der erfolgreich für Schießübungen eingesetzt wurde.

Das Fernsteuern von Flugzeugen erforderte die Perfektion der Funkfernsteuerung, einem Konzept, das 1895 und 1897 von Tesla demonstriert wurde. Wieder wurde die Entwicklung durch die Privatindustrie beschleunigt, als der Schauspieler Reginald Denny 1934 seine „Reginald Denny Hobby Shops“ eröffnete und damit begann, funkferngesteuerte Flugzeuge zu verkaufen. Einige Jahre später präsentierte er seine Arbeit der U.S. Army, was zur Entwicklung einer sehr erfolgreichen Zieldrohne, der OQ-2A führte, die verstärkt im 2. Weltkrieg eingesetzt wurde.²³

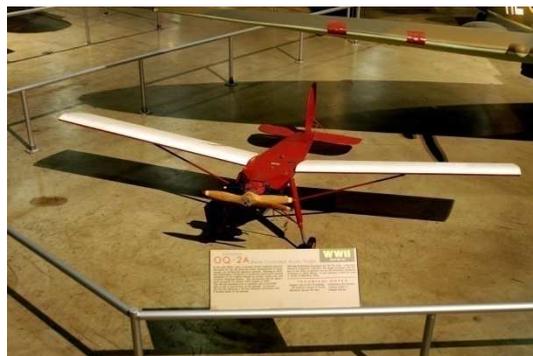


Abbildung 12: OQ-2A²⁴

Bald nach Ende des 2. Weltkriegs stieg das Interesse an Aufklärungsmissionen. Die Weiterentwicklung von Reginald Denny's Zieldrohnen wurde zur Basis der ersten Aufklärungsdrohne, der SD-1. Auch unter dem Namen MQM-57 Falconer bekannt, wurde sie Mitte der 50er Jahre entwickelt und gegen Ende ihrer Laufzeit waren fast 1.500 Einheiten produziert worden. Die SD-1 war ferngesteuert, trug eine Kamera

²³ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 16

²⁴ Quelle: <http://www.nationalmuseum.af.mil/shared/media/photodb/photos/060608-F-1234S-002.jpg> (aufgerufen am 05.02.2013)

und kehrte nach 30 min Flugzeit wieder zur Basis zurück, wo sie an einem Fallschirm landete.²⁵



Abbildung 13: SD-1²⁶

Der Verlust eines U-2 Aufklärungsflugzeuges über der Sowjetunion 1960 setzte einen weiteren Impuls in Richtung der Aufklärungsdrohnen und der erneute Verlust einer Maschine dieses Typs über Kuba räumte alle restlichen Zweifel und Budget-Beschränkungen aus dem Weg. Die United States Airforce (USAF) unterstützte die Ryan Modell 147 Drohne, die sich in eine Reihe verschiedener Modelle mit unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten entwickelte. Währenddessen kaufte die U.S. Navy eine Helicopter-Drohne namens QH-50 DASH vom Hersteller Gyrodine Company. Dieses Design wurde bevorzugt, da es auch von einer kleinen Fregatte aus gestartet werden konnte. Ihre Hauptaufgabe war es, Anti-U-Boot-Torpedos abzuwerfen, wobei sie auch zu Aufklärungszwecken, den Transport von Nutzlasten und für andere Aufgaben verwendet wurde. Da die QH-50 wegen Problemen mit ihren elektrischen Bordsystemen unter mangelnder Betriebssicherheit litt, gingen zu Friedenszeiten große Stückzahlen verloren.²⁷

²⁵ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 16

²⁶ Quelle: <http://www.designation-systems.net/dusrm/m-57.html> (aufgerufen am 05.02.2013)

²⁷ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 17



Abbildung 14: Ryan Modell 147²⁸



Abbildung 15: QH-50 DASH²⁹

In den späten 60er Jahren involvierte sich auch die Central Intelligence Agency (CIA) in die Entwicklung einer Langstrecken - Aufklärungsdrohne, die von einem Mutterflugzeug aus gestartet wurde, die D-21 Tagboard. Dieses Programm wurde von technischen Problemen, Unfällen und gescheiterten Missionen begleitet, was Anfang der 70er Jahre zu seiner Einstellung führte.³⁰

²⁸ Quelle: http://www.gyrodynehelicopters.com/images/QH-50C_on_DASH%20page.jpg (aufgerufen am 05.02.2013)

²⁹ Quelle: <http://www.skytamer.com/2001/250/1440.jpg> (aufgerufen am 05.02.2013)

³⁰ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 18



Abbildung 16: D-21 Tagboard³¹

Parallel arbeitete die Sowjetische Luftwaffe an eigenen Aufklärungsdrohnen. Das erste System war die auf einer vielgenutzten Zielübungsdrohne basierende TBR-1, dicht gefolgt von der DBR-1, welche eine größere Reichweite und ein breiteres Einsatzspektrum erlaubte. Die DBR-1 war nicht komplett wieder verwendbar, stattdessen entleerte sie nach Erreichen des Zielgebiets Kraftstoff, warf die Rumpfspitze mit dem Sensorbehälter ab und der Rest stürzte einfach ab. Die daraus resultierenden hohen Einsatzkosten führten dazu, dass die DBR-1 in den 70er Jahren durch die Tu141/143, einer Mittel- und Kurzstreckendrohne ersetzt wurde, die mit einem Fallschirm ausgestattet war und daher wieder verwendet werden konnte.³²



Abbildung 17: TU-141³³

In Europa entschied man sich zur selben Zeit für ein von Großbritannien und Kanada finanziertes unbemanntes System, welches bei Canadair entwickelt wurde. Das Resultat dieser Entwicklungen war die CL-89, ein in weiterer Folge auch von den

³¹ Quelle: http://www.fas.org/irp/program/collect/d-21_an11a.jpg (aufgerufen am 05.02.2013)

³² Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 19

³³ Quelle: <http://cdn-www.airliners.net/aviation-photos/middle/2/2/9/2166922.jpg> (aufgerufen am 05.02.2013)

Armeen Frankreichs und Deutschlands in Dienst gestelltes System. Die CL-89 war dafür ausgelegt, einen vorprogrammierten Kurs abzufliegen, Aufnahmen zu machen (bei Tag oder Nacht), zurück zu fliegen und an einem Fallschirm zu landen. Eine weiterentwickelte Version war die CL-289, welche außerdem noch über eine größere Reichweite verfügte und in den späten 70er Jahren - hauptsächlich von Deutschland finanziert – entwickelt wurde.³⁴



Abbildung 18: CL-89³⁵

Ein ebenfalls großer Akteur auf dem Gebiet der unbemannten Luftfahrzeuge war die israelische Luftwaffe, welche eine Staffel amerikanischer Drohnen während des Yom Kippur-Krieges für Aufklärungszwecke kaufte und einsetzte. Später entwickelten die Israeli Aircraft Industries und Tadiran ein eigenes Flugzeug, die Scout und Mastiff. Die Mastiff war wiederum die Basis des sehr populären Pioneer Systems und die israelischen Entwicklungen beeinflussten die Konstruktion der Predator und Shadow UAS.³⁶

In der vorliegenden Arbeit werden vor allem moderne Drohnensysteme beleuchtet. Statt einer chronologischen Reihung zu folgen werden hier Systeme nach Gruppen mit ähnlichen konstruktiven Merkmalen und hinsichtlich ihrer Funktionalität vorgestellt.³⁷ Die genaue Einteilung moderner Drohnen erfolgte bereits in Kapitel 2.1.2 – Einteilung der UAV's.

³⁴ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 20.

³⁵ Quelle: http://diepresse.com/images/uploads//8/2/6/452646/u_Symbolbild_Drohne.jpg (aufgerufen am 05.02.2013)

³⁶ Vgl. Dalamagkidis, K. et al. (2012), S. 20.

³⁷ Vgl. Dalamagkidis K. et al. (2012), S. 21.

2.3 Technische Meilensteine und ihr Einfluss auf die Entwicklung von Drohnen

Zu Beginn der Geschichte von unbemannten Luftfahrzeugen stellte der Mangel an ausgereiften Technologien aller Art ein großes Problem dar. Die ideale aerodynamische Formgebung von Flugzeugen lag generell noch in weiter Ferne, verlässliche und ausreichend starke, sowie regelbare Triebwerke gab es noch nicht und darüber hinaus steckten die Möglichkeiten, ein unbemanntes Luftfahrzeug fernzusteuern - geschweige denn, dass es vollkommen sich selbst überlassen auf Kurs blieb – noch in den Kinderschuhen. Man versuchte diesen Problemen die Stirn zu bieten, und so flossen technische Errungenschaften auf den oben genannten und einigen anderen Gebieten direkt in die heutigen, modernen Drohnensysteme mit ein. Eine Funkfernsteuerung zur Verfügung zu haben, die verlässlich war und über weite Strecken funktionierte, war zu Beginn der Geschichte der UAV's die reinste Zukunftsmusik, man bedenke an dieser Stelle den heutigen Stand der Telekommunikation. Aus diesem Grund bedienten sich die ersten unbemannten Luftfahrzeuge eines mechanischen Systems, das, von einem oder mehreren Kreiselinstrumenten geleitet, die Ruder des Flugzeugs betätigte, womit der Apparat schon mehr oder weniger gerade in eine Richtung flog.³⁸

Diese Technik wurde dann etwa zur Zeit des 2. Weltkrieges verfeinert, sodass es nun möglich war, mit Hilfe eines Kreiselinstruments für die Steuerung der Lage zum Horizont, eines Kurskreisels und pneumatischen Instrumenten zur Beeinflussung der Flughöhe etwas präziser zu navigieren. Im Laufe der weiteren Jahrzehnte konnte man sich die Fortschritte auf dem Gebiet der Elektronik zu Nutze machen und unbemannte Luftfahrzeuge sogar zeitabhängig Kursänderungen vornehmen lassen. Dies war jedoch – abhängig von der Einsatzdauer und den herrschenden Windverhältnissen – starken Schwankungen unterworfen, was die Präzision betraf, mit der das Flugzeug auf Kurs blieb, bzw. sein Ziel erreichte. Einer der größten Meilensteine - neben jenen auf den Gebieten der Sensor-, Prozessor- und Regelungstechnik - war die Entwicklung des Satellitennavigationssystems. Seit gut zwei Jahrzehnten können sich unbemannte und bemannte Flugzeuge an Hand von räumlichen Polarkoordinaten orientieren, die von Satelliten empfangen werden und

³⁸ Vgl. Dalmagkidis K. et al. (2012), S. 14.

die Ermittlung von Abweichungen von der Soll- zur Ist-Position in Echtzeit ermöglichen. Gerade die Vielzahl an hochpräzisen Sensoren, integrierten Rechnersystemen und deren Verfügbarkeit zu immer günstigeren Preisen schlägt in der heutigen Zeit die Brücke von den rein militärischen hin zu den zivilen Anwendungsmöglichkeiten von unbemannten Luftfahrzeugen. An die Stelle von komplizierten mechanischen Kreiselssystemen sind sog. AHRS (Attitude-Heading Reference Systems) getreten, die ohne bewegliche Komponenten Lage und Orientierung bestimmen können. Darüber hinaus eröffnen sog. Digital Imaging, akustische sowie verschiedene optische Sensoren, hocheffiziente elektrische Antriebe und der Fortschritt auf dem Gebiet der Energiespeicherung den Blick auf völlig neue Einsatzgebiete für unbemannte Luftfahrzeuge abseits der bisher bekannten militärischen.³⁹ Ein immer weiter fortschreitender Automatisierungsgrad wird vermutlich dazu führen, dass UAV's in Prozesse integriert werden, bei denen der Nutzer der durch das UAV bereitgestellten Daten gar nicht mehr in dessen Betrieb eingreifen muss. Es ergäben sich erhebliche Einsparungen bei den Betriebskosten, da es noch großes Potential bei der Automatisierung der für den Betrieb von UAV's notwendigen Prozessen gibt. Diese beinhalten beispielsweise das Be- und Entladen, die Versorgung und Kontrolle der Systeme, das Laden der Batterien/ Füllen der Kraftstofftanks oder die Weitergabe von ermittelten Daten.

³⁹ Vgl. Valavanis K., et al. (2010) S.105ff.

3 Analyse von bestehenden Märkten

Gegenwärtig werden UAV's primär für militärische Zwecke verwendet und Investitionen konzentrieren sich vorwiegend auf zukünftige militärische Szenarien. Die meisten militärischen unbemannten Luftfahrzeuge werden für das Sammeln von Geheimdienstinformationen, Überwachungs- und Aufklärungsaufgaben, sowie für Angriffe verwendet. Hauptnutzer sind das US-Verteidigungsministerium, dicht gefolgt von den israelischen Streitkräften. UAV's wurden in den Konflikten in Ex-Jugoslawien, im Irak, Afghanistan, Libyen und anderenorts eingesetzt. In Zukunft werden sie komplexere Missionen ausführen, wie z.B. Luftkämpfe, Zielerkennung, Erkennung und Zerstörung von feindlicher Infrastruktur zur Luftabwehr, elektronische Angriffe, Netzwerk Relay für Kommunikation, Lieferung von Gütern, Abwehr von Kriegsschiffen und U-Booten, Minenbekämpfung, offensive und defensive Luftabwehr und Luftbrücken. Der Trend führt folglich dazu, bemannte Missionen speziell in gefährlicher Umgebung zu ersetzen, was für einen Großteil der militärischen Aktivitäten gilt. Das Ziel des US-Verteidigungsministeriums ist es, ab 2012/2013 ein Drittel der operativen Flugzeuge der kämpfenden Truppen unbemannt zu betreiben. Die von Boeing gefertigte X-45 Unmanned Combat Aerial Vehicle (UCAV) umfasst das oben genannte Konzept. Heutzutage, nach Jahren der Entwicklung haben UAS ein Entwicklungsstadium erreicht, das es ermöglicht, sie auch in zivilen/kommerziellen Szenarien einzusetzen. "Numerous UAV market forecasts portray a burgeoning future, including predictions of \$ 10.6B by 2013."⁴⁰ Einige Organisationen z.B. die beiden amerikanischen Radio Technical Commission of Aeronautics (RTCA) und die NASA, sowie eine Europäische Vereinigung (UAVNET) konzentrieren sich auf zivile Anwendungen. Sie strengen Forschungen an, um auf die Möglichkeiten ziviler und wissenschaftlicher Anwendungen und Einsatzmöglichkeiten zu reagieren. Im Zuge der Durchführung einer Reihe von Workshops und Studien haben diese Organisationen einen Leitfaden für potentielle Konzepte und Anforderungen für den zivilen Einsatz von unbemannten Systemen entwickelt.⁴¹

⁴⁰ Zit. Angelov P., (2012) S. 14.

⁴¹ Vgl. Angelov P., (2012), S. 14ff.

Unbemannte Luftfahrzeuge können große Vorteile mit sich bringen, wenn sie zur Luftüberwachung, Aufklärung und Inspektion, in komplexen und gefährlichen Umgebungen eingesetzt werden. Derzeit entwickeln und produzieren verschiedene Unternehmen hunderte von UAV-Designs. Natürlich involvieren sich große Rüstungskonzerne in die Entwicklung und den Bau von UAV's (z.B. Boeing, BAE Systems, Lockheed-Martin und EADS). Gleichzeitig tauchen auch immer mehr neue oder kleinere Firmen mit innovativen Technologien auf und beleben den Markt. Amerikanische Firmen machen derzeit 63% bis 64% des Marktvolumens aus, während europäische weniger als 7% bestreiten. 2005 entwickelten und bauten 32 Nationen mehr als 250 Varianten von UAV's und ungefähr 41 Nationen betrieben mehr als 80 Typen, hauptsächlich zur Aufklärung für militärische Zwecke. In den nächsten 4 bis 5 Jahren wird der UAV-Markt in den USA auf \$ 16 Mrd. wachsen, gefolgt von Europa, wo ein Volumen von \$ 2 Mrd. erwartet wird. In den USA stiegen zum Beispiel die F&E-Budgets nach 2001 rapide an (siehe Abb. 19) und die UAV Entwicklung erlebte einen starken Vortrieb. Im Gegensatz dazu wurden die Budgets in Europa nur langsam erhöht (Siehe Abb. 20).⁴²

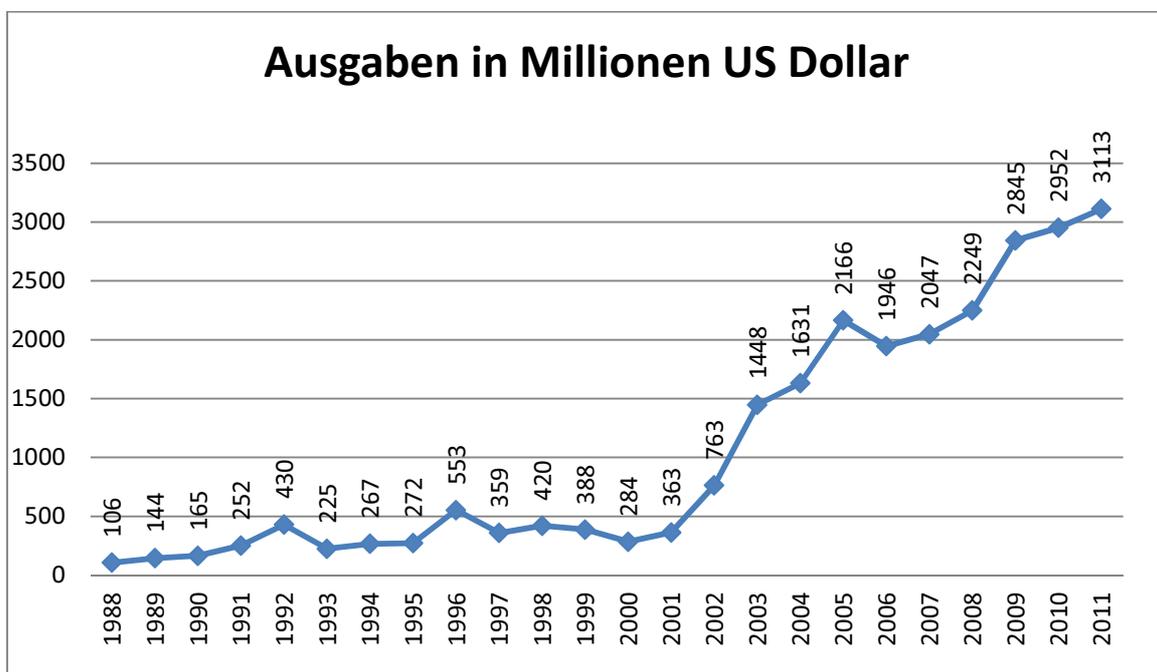


Abbildung 19: Jährliche Ausgaben des US Verteidigungsministeriums für unbemannte Luftfahrzeuge (eigene Darstellung)⁴³

⁴² Vgl. Angelov P., (2012), S. 17f.

⁴³ Vgl. Plamen A. (2012), S. 17.

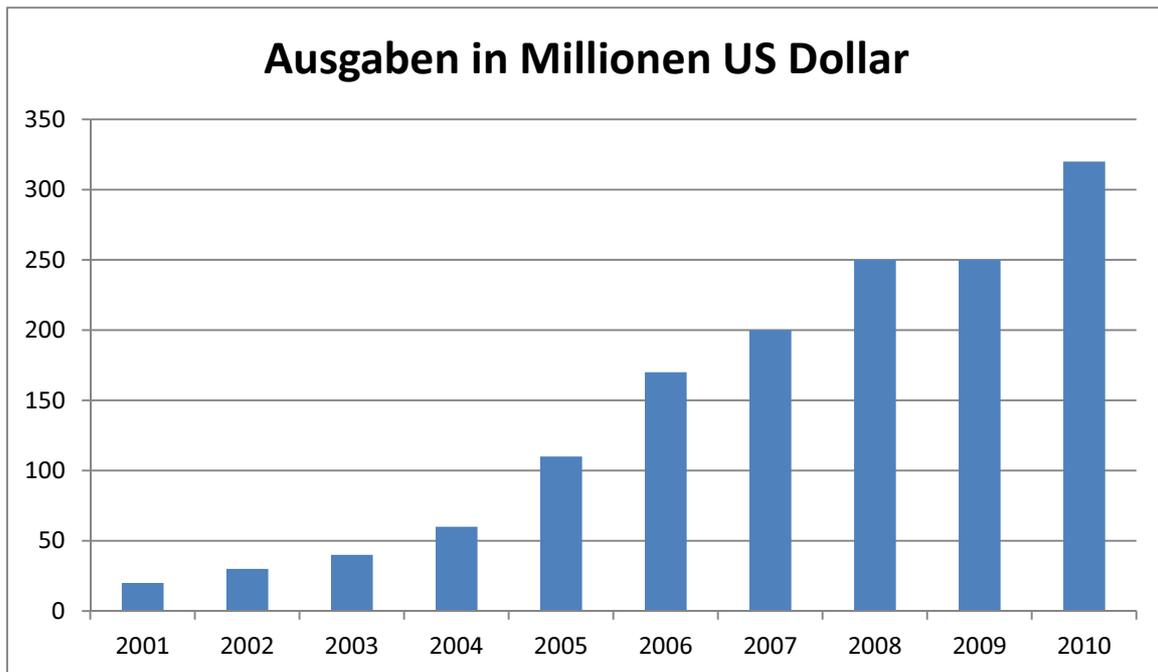


Abbildung 20: Jährliche Ausgaben in Europa (eigene Darstellung)⁴⁴

Die Entwicklung eines zivilen Marktes für UAV's wird im Laufe des nächsten Jahrzehntes erwartet.

3.1 Zivile Einsatzgebiete

Laut den oben angesprochenen Leitfäden können zivile Einsatzgebiete für UAV's in fünf Gruppen eingeteilt werden:⁴⁵

Umwelt- oder Erdwissenschaftliche Anwendungen: Diese umfassen Umweltforschung (z.B. Magnetfeldmessungen, Eisdickenmessungen, etc.), atmosphärische Messungen und Beobachtung der Luftverschmutzung (z.B. die Kontrolle der Verschmutzung in der Stratosphäre, Ausbreitung von CO₂ oder Vulkanasche, etc.), Wettervorhersage, geologische Vermessung (z.B. zur Kartierung von Setzungen oder der Verteilung von Mineralien und Öl, etc.).

⁴⁴ Vgl. Plamen A. (2012), S. 18.

⁴⁵ Vgl. Angelov P., (2012), S 15f.

Notfallanwendungen: Diese beinhalten den Such- und Rettungsdienst, Tsunami/Flutüberwachung, die Beobachtung von nuklearer Strahlung und das schnelle Erlangen von Situationsbewusstsein bei Katastrophen, die Lieferung von humanitären Hilfsgütern, etc.

Kommunikationsanwendungen: Telekommunikations-Relay-Dienste, Mobiltelefon- oder Breitbandübertragungen sind einige Beispiele dafür.

Beobachtungsanwendungen: Diese umfassen den Heimatschutz (Marine- und internationale Grenzkontrolle, Küstenwache, den Gesetzesvollzug, etc.), die Überwachung von Feldern, die Feuererkennung, die Überwachung von Infrastruktur (Öl- und Gaspipelines, Hochspannungsleitungen, etc.) die Kartierung von Geländen (Waldkartierung, Fernerkundung von urbanen Gebieten, etc.).

Kommerzielle Anwendungen: Diese umfassen Luftaufnahmen, die Optimierung des Düngereinsatzes in der Landwirtschaft, den Transport von Gütern und Post, etc..

Der US-Senat hat großes Interesse in Zukunft vermehrt UAV's zur Kontrolle der internationalen Landgrenzen einzusetzen. Die US Customs and Border Protection (CBP) verwendet bereits jetzt schon sehr fortschrittliche Technologien, um die Möglichkeiten der US Border Patrol (USBP), die Grenzen zu patrouillieren, zu verbessern. Hier wird bereits eine Flotte von 6 UAV's eingesetzt. Ein möglicher Vorteil von UAV's ist, dass sie eine Lücke in der gegenwärtigen Grenzkontrolle schließen könnten, indem sie den Erfassungsbereich entlang entlegener US-Grenzabschnitte verbessern. Darüber hinaus ist die Reichweite von UAV's im Vergleich mit am Boden patrouillierenden Grenzbeamten oder stationärer Überwachungsausrüstung ein entscheidender Vorteil. Trotz der potentiellen Vorteile, die die Verwendung von UAV's zur Grenzüberwachung mitbringt, gibt es einige Probleme, die deren Einführung in der Grenzkontrolle behindern können. Es gibt Bedenken auf Grund der hohen Absturzrate von UAV's, die historisch betrachtet um ein Vielfaches größer ist, als jene bemannter Flugzeuge. Raue Wetterbedingungen können sich auch auf die Überwachungsfähigkeiten von UAV's auswirken. Hinzu kommt, dass laut Generalinspektor der CBP die durch den Betrieb von UAV's verursachten Kosten mehr als doppelt so hoch sind, wie die vom Einsatz

konventioneller bemannter Flugzeuge herrührenden. Am 23.06.2010 stellte die FAA eine amtliche Bescheinigung aus, die UAV-Flüge entlang der Texanischen Grenze und in der Golf-Region erlaubt. Andere Anträge wurden wegen Sicherheitsbedenken verschoben, von denen einige mit vorangegangenen Zwischenfällen begründet werden.⁴⁶

3.1.1 NASA Dragon Eye UAV zur Vulkanforschung

Anfang 2013 reisten NASA Wissenschaftler zum Turrialba-Vulkan in der Nähe von San Jose, Costa Rica, um ein Dragon Eye UAV – ein kleines, mit Kameras und Sensoren bestücktes elektrisches Luftfahrzeug – in die schwefeldioxydhaltige Abgaswolke seines Kraters fliegen zu lassen, um dessen chemisches Umfeld zu erforschen. Aufgabe dieses Projekts ist es, die sensorischen Fähigkeiten von Satelliten zu verbessern und Computermodelle von vulkanischen Aktivitäten zu erstellen.⁴⁷



Abbildung 21: 3 Drag Eye UAV's, Hintergrund: Turrialba Vulkan⁴⁸

⁴⁶ Vgl. Haddal C. C. & Gertler J., (2010) Summary.

⁴⁷ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁴⁸ Quelle: http://www.nasa.gov/images/content/737656main_CR_deploy_3_dragon_eye300dpi.jpg (aufgerufen am 14.04.2013)

Im Zuge der "In Situ Validation and Calibration of Remotely Sensed Volcanic Emission Data and Models" wurden zwischen 11. und 14. März 2013 zehn Flüge in die Rauchsäule des Kraters und entlang dessen Rand in einer Höhe von ca. 10.500 Fuß Mean Sea Level (MSL) gestartet. Die Höhe des Startplatzes betrug 8.900 Fuß MSL. Manche Flüge reichten bis 12.500 Fuß MSL, mehr als 2.000 Fuß über dem Gipfel des Vulkans. Ziel des Projekts ist es auch, satellitengestützte Datenerhebungssysteme, wie z.B. Karten von der Konzentration und Verteilung vulkanischer Gase sowie ihrer Ausbreitungsmodelle zu verbessern.⁴⁹

Während dieser Testflüge koordinierte das Team die Datenerhebung mit dem Advanced Spaceborn Thermal Emission and Reflection (ASTER) Instrument, das sich an Bord des NASA Terra Spacecraft befindet. Dies erlaubte den Wissenschaftlern die vom Weltraum aus gemessenen Schwefeldioxyd Konzentrationen mit jenen zu vergleichen, die direkt am Krater entnommenen Proben entstammten. Wissenschaftler glauben, dass Computermodelle, die auf diesen Ergebnissen basieren, erheblich zur Sicherheit des nationalen und internationalen Luftraums beitragen werden und die globalen Klimavorhersagen verbessern.⁵⁰

Ein Schlüsselfaktor solcher Modelle ist die Intensität und der Charakter der vulkanischen Aktivitäten in der direkten Umgebung des Vulkanschlotes. Beispielsweise ist das Wissen um die Höhe der Gas- sowie Aschekonzentrationen und Temperaturen über dem Schlot während einer Eruption ein wichtiger Faktor für jedes Modell, das die Richtung der vulkanischen Aschewolke vorhersagen soll.⁵¹

⁴⁹ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁵⁰ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁵¹ Vgl. Marlaire R. D., (2013).



Abbildung 22: Aufgezeichneter Flugweg⁵²

Das Sammeln von Daten in der direkten Umgebung einer vulkanischen Eruptionszone ist schwierig, da dort starke Aufwinde und hohe Aschekonzentrationen vorherrschen, die Flugtriebwerke stark beschädigen können. Daher können solche Umgebungen für bemannte Flugzeuge sehr gefährlich sein. Vulkanische Aschewolken können sich meilenweit von einer Eruptionszone ausbreiten, isolierte Aschewolken können sich sogar hunderte bis tausende Meilen weit davon entfernen.⁵³

Um in solch einen gefährlichen Luftraum einzudringen sind UAV's, insbesondere elektrisch betriebene, eine aufstrebende und effektive Alternative um wichtige Daten über die Gas- und Aschekonzentrationen und deren vertikale und horizontale Ausbreitung zu sammeln.⁵⁴

Um die Projektziele zu erreichen, verwendeten die Forscher des NASA Ames Research Centers Moffet Field California, 3 kleine elektrische UAV's mit einem Gewicht von 2,7 kg und einer Spannweite von 1,1 m mit zwei Elektromotoren. Diese

⁵² Quelle:

http://www.nasa.gov/images/content/737666main_Turrialba%20flight%20profile_dave_edit_labels.jpg (aufgerufen am 14.04.2013)

⁵³ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁵⁴ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

konnten mit einer Nutzlast von 0,45 kg bis zu 1 Stunde lang in der Aschewolke operieren.⁵⁵

Dieses Projekt ist ein gutes Beispiel dafür, wie UAV's für einen zivilen Zweck eingesetzt werden können. In diesem Fall dienen sie dem besseren Verständnis der Vorgänge im System Erde und des Einflusses von Vulkanismus auf unsere Atmosphäre.⁵⁶



Abbildung 23: AMES-Wissenschaftler Rick Kolyer startet das Dragon Eye UAV⁵⁷

Die Mitglieder des AMES Forschungsteams integrierten Video- und Infrarotkameras, Schwefeldioxyd- und Partikel-Sensoren und automatische Probenröhren zum Sammeln von Gasproben in die UAV's. Die Forscher operierten mit den UAV's auch direkt in der Abgaswolke des Vulkans, um die dort herrschende physikalische und chemische Umgebung zu erforschen. Diese Fähigkeit war besonders bei simultanen Flügen mit dem NASA Terra Satelliten und dessen bildgebendem Radiometer (ASTER) sehr wichtig. Im kommenden Jahr wird die NASA im Rahmen dieses Projektes auch Flüge mit dem größeren SIERRA-UAV mit einer Abflugmasse von 181,5 kg und einer Nutzlast von 45 kg unternemen und dabei ein technisch

⁵⁵ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁵⁶ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁵⁷ Quelle: http://www.nasa.gov/images/content/737665main_Ric_launching_DragonEye_FULL.jpg (aufgerufen am 03.04.2013)

hochwertiges Massenspektrometer zur Messung von zusätzlichen Gasen in der Schadstofffahne des Turrialba Vulkans durchführen.⁵⁸

Die Vulkane Costa Ricas stellen ausgezeichnete natürliche Laboratorien zur Erprobung und Entwicklung dieser vulkanologischen UAV-Systeme dar, da z.B. gerade die Gaswolke des Turrialba minimale Auf- und Scherwinde aufweist. Die Rauchfahne des permanent brodelnden Schlots besteht hauptsächlich aus Kohlendioxyd, Wasserdampf, Schwefeldioxyd, einigen Hydrogensulfiden und anderen unbedeutenderen Gasen wie Helium und Sulfat-Nanopartikeln in Höhen von bis zu 11.000 Fuß MSL. Darüber hinaus ist das private und kommerzielle Flugverkehrsaufkommen im Luftraum über und um den Turrialba Vulkan eher gering.⁵⁹

Ein Langzeitziel des Projektes ist eine Methode zu finden, die es ermöglicht Proben von dahintreibender Asche und Gas aus Rauchsäulen von Vulkanen bis in einer Höhe von 30 000 Fuß MSL zu nehmen, die von solchen explosionsartigen Eruptionen herrühren, wie jene, die den Flugverkehr über Island und Europa im Frühjahr 2010 lahmlegte.⁶⁰

Das Forschungsprojekt wird von der Earth Surface and Interior Focus Area des NASA Science Mission Directorate's Earth Science Solicitation finanziert. Unter der Leitung von John LaBrecque im NASA Zentrum wird durch verbesserte Satelliten-Datenbank-Ergebnisse von Gasen und soliden Aerosolen, welche von vulkanischen Aktivitäten herrühren, sowie anhand vulkanischer Emissions-Ausbreitungsmodelle direkt die gegenwärtige Terra/ASTER Mission und NASA's geplante Hyperspektral-Infrarot-Bildgeber (HyspIRI) Mission unterstützt.⁶¹

Der jüngste Einsatz der NASA Dragon Eye UAV's war eine kollaborative Bestrebung zwischen drei NASA-Zentren, dem Ames Research Center, der zur Jet Propulsion Laboratory und Goddard Space Flight Center gehörenden Wallops Flight Facility und einigen internationalen und kommerziellen Partnern inklusive der University of Costa

⁵⁸ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁵⁹ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁶⁰ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁶¹ Vgl. Marlaire R. D., (2013).

Rica (UCR), der Fachhochschule Düsseldorf (FHD), RadMET LLC und Teledaq LLC aus Kalifornien.⁶²

3.1.2 Shadowhawk UAS im Polizeieinsatz

Die Shadowhawk ist ein 13 kg schweres, 182 cm langes, voll autonomes Drehflügel-UAS, ausgerüstet mit einer digitalen Tageslichtkamera und (FLIR) Technologie für Nachteinsätze, darüber hinaus kann sie auch mit Schrottmunition oder Granaten ausgerüstet werden. All dies macht sie zu einem Verlässlichen Hilfsmittel der Polizei.⁶³



Abbildung 24: Shadowhawk UAS des Büros des Sheriffs von Montgomery County.⁶⁴

Beispielhaft dafür ist das Sheriffs Office von Montgomery County, Texas, welches durch eine Förderung eine Staffel Shadowhawk zur Unterstützung bekam. Hierzu ChiefDeputy, Randy McDaniel (Montgomery County, Texas): „Wir sind sehr begeistert über die Förderung und freuen uns schon die Ausrüstung im Einsatz zu testen. Meine beiden Abteilungen, Narcotics und Special Weapons And Tactics (SWAT) haben sich mit verschiedenen Arten des Einsatzes beschäftigt und ich

⁶² Vgl. Marlaire R. D., (2013).

⁶³ Vgl. Mortimer G., (2011).

⁶⁴ Quelle: <http://3.bp.blogspot.com/-hLSiUIWbpro/TsVXTu3Yhjl/AAAAAAAAEMg/X4mxAHIGaWY/s1600/Shewiff.jpg> (aufgerufen am 02.04.2013)

glaube, es wird ein wichtiger Teil aller SWAT-Einsätze und Drogenrazzien sowie des Krisenmanagements werden“.⁶⁵

Mittlerweile hat die FAA bekanntgegeben, dass dem Büro des Montgomery County Sheriff in Conroe, Texas ein Lufttüchtigkeitszeugnis für den Betrieb eines Shadowhawk UAS der Vanguard Industries ausgestellt wurde.⁶⁶

Das Sheriffs Office von Montgomery County, Texas, geht davon aus, dass die Shadowhawk die Möglichkeiten im Such- und Rettungsdienst, dem Krisenmanagement, sowie bei der Durchführung riskanter Vollziehungsbefehle steigern wird und dadurch die Sicherheit und das Wohlergehen der Bürger verbessert werde.⁶⁷

3.1.3 Vanguard Defence und ISR Group fördern UAS Einsätze

Die ISR Group und Vanguard Defence Industries haben einen Exklusivvertrag abgeschlossen. Dieser Vertrag beinhaltet die Ausdehnung der Flugeinsätze, das Training des Einsatzpersonals und der Wartung und Instandhaltung im Auftrag von Vanguard Defence's Shadowhawk UAS-Plattform.⁶⁸

Diese Vereinbarung bringt Vorteile für die U.S. – und NATO-Streitkräfte, sowie andere Regierungsbehörden, die ebenfalls Vertical Takeoff and Landing (VTOL) Systeme verwenden. Des Weiteren wird es den Fortschritt auf dem Gebiet der VTOL-Technologie innerhalb des privaten Sektors und kommerzieller Anwendungen unterstützen.⁶⁹

Das Shadowhawk UAS wird in den USA und weltweit regelmäßig eingesetzt. Es bietet verfolgbare Informationen in Echt-Zeit für Einsätze mit geringen personellen Ressourcen. Ausgerüstet mit vielseitiger Nutzlast ist das Shadowhawk VTOL UAS fähig, Live-Stream Informationen sowohl aus großer Höhe mit erhöhter Reichweite

⁶⁵ Vgl. Mortimer G., (2011).

⁶⁶ Vgl. Mortimer G., (2011).

⁶⁷ Vgl. Mortimer G., (2011).

⁶⁸ Vgl. SUAS News, o. V. (2012).

⁶⁹ Vgl. SUAS News, o. V. (2012).

und einem größeren Überwachungsradius, als auch aus niedriger Höhe für eine genauere Betrachtung zu übertragen.⁷⁰

Das Shadowhawk VTOL UAS dient als eine sichere und bezahlbare Lösung für das Sammeln von hochauflösenden Bildern und anderen Daten, die zur Kontrolle wichtiger natürlicher Ressourcen und Infrastruktur im Interesse der nationalen Sicherheit und zur Untersuchung von Katastrophenschäden verwendet werden.⁷¹

Laut ISR Group Gründer und CEO Alfred Lumpkin werden die ISR Group und Vanguard Defence Industries gemeinsam Militärs und Regierungsbehörden mit Möglichkeiten zur Informationsgewinnung beliefern und dadurch die Notwendigkeit für große finanzielle Investitionen in Wachstumstechnologien mindern.⁷²

Der CEO von Vanguard Defence Industries Michael Buscher kommentierte, dass die Zusammenarbeit der beiden Firmen echte „Turn-Key“-Lösungen für den Einsatz von UAS schaffen wird, wovon deren Kunden profitieren werden.⁷³



Abbildung 25: Shadowhawk UAS⁷⁴

⁷⁰ Vgl. SUAS News, o. V. (2012).

⁷¹ Vgl. SUAS News, o. V. (2012).

⁷² Vgl. SUAS News, o. V. (2012).

⁷³ Vgl. SUAS News, o. V. (2012).

⁷⁴ Quelle: <http://www.suasnews.com/wp-content/uploads/2011/08/shadowhawk.jpg> (aufgerufen am 02.04.2013)

3.1.4 Projekt zur Echt-Zeit-Kartierung der Universität von Utah

Der AggieAir Flying Circus der staatlichen Universität von Utah verwendet UAV's für Echt-Zeit-Kartierung und eröffnet dafür eine Fülle von neuen Anwendungsbereichen. Sofern die FAA ihre Auflagen für zivile UAV's lockert, könnten Drohnen aller Art schon bald im amerikanischen Luftraum weit verbreitet sein.⁷⁵

Austin Jensen, ein Mitglied des Utah Water Research Laboratory, hält einen 2 m spannenden roten Nurflügler und geht damit rückwärts. Wenn die Gummischnur, die am anderen Ende im Boden verankert ist, gespannt ist, hält er das Flugzeug über seinen Kopf und gibt es an die Luft frei. Angetrieben von dem Gummiseil schießt es über die Köpfe hinweg, lässt das Seil unter sich liegen und startet den Druckpropeller, der von einem Elektromotor angetrieben wird. Das Flugzeug steigt, neigt sich zur Seite und fliegt in Richtung der Berge davon.⁷⁶

So beginnt eine weitere Mission des AggieAir Flying Circus, einem Projekt des Utah Wasserforschungslabors, oder UWRL an der Utah State University. Seit fünf Jahren fliegt die Gruppe Einsätze mit UAV's und kartiert und misst über Flüssen, Sümpfen, Feldern und Baustellen. Nachdem das Team den autonomen Flug und die Kartierung perfektioniert hat, ist es Zeit für den nächsten Schritt: Größere Flugzeuge, die in Formation fliegen, Daten untereinander austauschen und dabei größere Flächen in kürzerer Zeit abdecken. Alles zu einem Bruchteil der Kosten, die bei konventioneller Kartierung und Bildgebung unter der Verwendung von Luftschiffen und bemannten Flugzeugen entstehen.⁷⁷

Die sechs Nurflügler von AggieAir basieren alle auf einer konventionellen off-the-shelf-Plattform von Unicorn Wings. Sie inkorporieren Kameras (sichtbar und Infrarot), GPS, Computer, Inertial Measurement Units (IMUs) und ein raffiniertes Softwarepaket, das die Gruppe entwickelt hat, um Fernerkundungsdienste für Naturschützer und Zivilingenieure zugänglich zu machen. Während eines Fluges, der bis zu einer Stunde dauern kann, überfliegt ein AggieAir - UAV autonom ein Zielgebiet entlang eines vorprogrammierten Flugplans in einer Höhe von bis zu 3.000 Fuß. Das Team

⁷⁵ Vgl. Belfiore M. (2012).

⁷⁶ Vgl. Belfiore M. (2012).

⁷⁷ Vgl. Belfiore M. (2012).

beobachtet den Flug von einem Laptop in einem nahegelegenen Anhänger aus und verfolgt die Geschwindigkeit (üblicherweise in etwa 35 Meilen/Stunde), die Höhe und die Position entlang der Flugroute. Das Flugzeug nimmt alle vier Sekunden ein Foto von dem überflogenen Terrain auf, während es je nach Bedarf vor und zurück fliegt, um eine komplette Karte aus Luftaufnahmen von Fluss, Autobahn oder Feldern aufzunehmen.⁷⁸

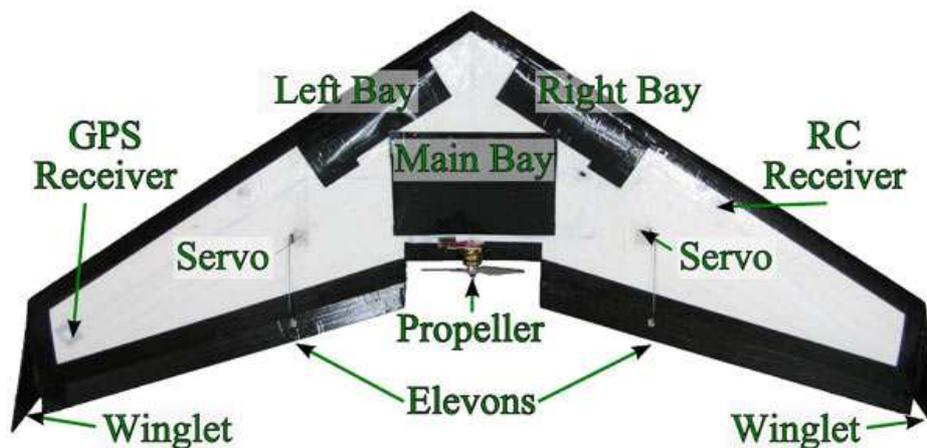


Abbildung 26: Das Nurflügel-UAV von AggieAir⁷⁹

Nachdem die Maschine eigenständig anfliegt, um auf den Kufen zu landen (sie verfügt über kein Fahrwerk) bringt das Team sie von der Landezone zurück und entnimmt die Speicherkarte, um Bilder und andere Daten herunterzuladen. Die Bilder sind bereits mit Hilfe des GPS und des IMU grob georeferenziert (Positionsgenauigkeit ca. 30 Fuß). Die weitere Verarbeitung der Bilder, die einige Stunden dauern kann, positioniert sie dann mit einer Genauigkeit von wenigen Zentimetern, was eine präzise Überlagerung in Google Maps und das genaue Vermessen einzelner Elemente erlaubt. Die Kombination der von den verschiedenen Kameras gesammelten Daten liefert Informationen über die Feuchtigkeit des Erdreichs, die Verteilung bestimmter Pflanzen und andere Besonderheiten.⁸⁰

⁷⁸ Vgl. Belfiore M. (2012).

⁷⁹ Quelle: <http://www.popularmechanics.com/cm/popularmechanics/images/MA/AggieAir-02-0412-de.jpg> (aufgerufen am 05.04.2013)

⁸⁰ Vgl. Belfiore M. (2012).

„We can tell people now where they have *Phragmites australis*, this invasive reed species that's taking over North American wetlands“⁸¹, sagt UWRL Direktor Mac McKee. „Wir können ihnen mit 95 prozentiger Genauigkeit sagen wo sie *Phragmites* haben und das ist 20% genauer als kommerzielle Algorithmen das können.“ Noch besser ist, dass die UAV's so viel billiger zu fliegen sind als bemannte Flugzeuge und um einiges einfacher zu handhaben als Ballone. Fortlaufende Missionen können dieselben Gebiete von Zeit zu Zeit überfliegen, um die Veränderungen im Verlauf zu zeigen.⁸²



Abbildung 27: AggieAir Flying Circus⁸³

3.2 Militärische Einsatzgebiete

UAV's sind in militärischen Anwendungen bereits global weit verbreitet. Eine genaue Auflistung der militärischen Einsatzgebiete wurde bereits in Kapitel 2.1.2 - Einteilung der UAV's, gegeben. Daher wird an dieser Stelle nicht mehr näher darauf eingegangen.

⁸¹ Zit. Belfiore M. (2012).

⁸² Vgl. Belfiore M. (2012).

⁸³ Quelle: <http://www.popularmechanics.com/cm/popularmechanics/images/GV/AggieAir-03-0412-de.jpg> (aufgerufen am 05.04.2013)

4 Erzielbare Autonomie von Systemen

Entscheidend darüber, wie hilfreich sich UAV's in Zukunft zeigen werden, ist der Grad der Automatisierbarkeit, die Verlässlichkeit und Steuerbarkeit der Systeme. Hierzu werden einige Ansätze aus „Advances in unmanned Aerial Vehicles“⁸⁴ angeführt.

Beurteilt am gegenwärtigen Stand der UAV-Technologie, nach ihrer Verwendung in militärische und zivile Domänen unterteilt und unter Berücksichtigung des Zukunftstrends vom „Einzelsystem“ zum „System der Systeme“-Paradigma, inkludiert eine mögliche Liste (jedoch ohne Beschränkung auf diese) an technischen Herausforderungen, die es zu überwinden gilt, folgende Punkte:

- **Modellierung:** Räumlich-zeitliche Modellierungsparadigmen werden notwendig sein um die Echtzeitplanung und Steuerung von heterogen vernetzten UAV's zu verbessern.
- **Steuerung:** Es werden hierarchisch-intelligente Steuerungsmethodologien, die zur Steuerung vielfach vernetzter Systeme geeignet sind, benötigt werden. Es müssen neue Schlussfolgerungsparadigmen zum Verfolgen, für Ausweichmanöver, zur Überwachung/Aufklärung, für koordinierte Steuerung, zur Planung und Vorbereitung, um Hindernissen auszuweichen und zur Konfliktlösung abgeleitet und implementiert werden.
- **Netzwerke und Kommunikation:** Es müssen Inter- und Intra-Systemverbindungen zwischen den eigenen Einheiten berücksichtigt werden, auf Robustheit und Verlässlichkeit sollte parallel zu sicheren Kommunikationsprotokollen eingegangen werden. Es wird notwendig sein, die Kontroll- und Kommunikationsfähigkeiten zu bündeln und zu beherrschen. Ein gut definiertes Assortiment an Kriterien, das die Qualität der Dienstleistungsanforderungen - größtenteils über die Transportebene - verbessert, wird erforderlich sein, um die Systeme von UAV's zu evaluieren.
- **Datenverarbeitung:** Die Autonomie von unbemannten Luftfahrzeugen wird durch eine Erhöhung der Rechenkapazität im UAV gesteigert. Größere An-

⁸⁴ Vgl. Valavanis K. et al, (2012), S. 538.

Bord-Rechnerressourcen sollten mit neuer Hardware- und Softwarearchitektur gepaart werden und schließlich zur offenen Systemarchitektur führen.

- Sensoren und Abtaststrategien: Es werden rechnerisch effiziente, verlässliche und präzise, sogenannte Sensor-Fusion-Algorithmen gekoppelt mit relevanten Hardware- und Softwareanforderungen erforderlich sein. Des Weiteren sollte eine Metrik für die Effektivität vernetzter Sensoren definiert werden, die ermittelte Daten kombiniert, verarbeitet und in weiterer Folge zur Entscheidungsfindung führt.
- Leistungsmetrik, Verifikation und Validation: Es werden formale Methoden zu Verifikations- und Validierungszwecken (zusätzlich zu Hardware-in-the-loop- und Software-in-the-loop-Verifikation) erforderlich sein, neben gut definierten Methoden zur Prüfung des Erfolges.⁸⁵

Diese Herausforderungen sind gepaart mit den Technologien, die sie ermöglichen, und müssen natürlich parallel weiterentwickelt werden, damit sie die Ansprüche an ihre Funktionalität und Betriebsfähigkeit erfüllen. Basistechnologien, die mit den oben erwähnten technischen Herausforderungen korrespondieren, sind beispielsweise:

- Es werden neue Modellierungstechniken benötigt werden, die es ermöglichen individuelle System-/Sensor- Dynamiken (z.B.: Kommunikation, etc.) in einem logischen System-von-Systemen-Verhalten zu koppeln. Eine Schlüsselrolle werden dabei Ansätze eines Hybrid-Systems zur Erfassung von komplexen Verhaltensweisen und zur Definition von Methoden zur Abbildung und zum Management von Unsicherheiten spielen. Diese inkludieren auch Raum-Zeit-Modelle von verteilten Sensoren zu integrierten System- und Bewegungsabhängigkeiten, Situationsbewusstsein und Planung für Eventualfälle.⁸⁶
- Es müssen intelligente und hierarchisch verteilte Steuerungskonzepte entwickelt werden, die mit einer System-der-Systeme-Konfiguration umgehen können. Darüber hinaus werden Ansätze der Spieltheorie und Optimierungsalgorithmen in Echtzeit dazu verwendet, bei der kooperativen

⁸⁵ Vgl. Valavanis K. et al, (2012), S. 539.

⁸⁶ Vgl. Valavanis K. et al, (2012), S. 539.

Steuerung und zur Schlussfolgerung der besten Entscheidung zu unterstützen. Umfassende Ansätze zur Steuerung von Netzwerken mit dynamischen Komponenten werden sehr maßgeblich sein um Koordinations- und Kooperationsprobleme zu lösen.

- Netzwerke und Kommunikation werden von traditionellen Protokollen und Standards abweichen, was die Notwendigkeit neuer Lösungen zum Vermeiden von Jamming verdeutlicht. UAV's werden in weiterer Folge auch als Relaisstationen in der Kommunikation und als Informationshub verwendet werden.
- Die Computertechnologien werden auf eingebetteten Lösungen basieren und zu neuen, verlässlichen und fehlertoleranten Rechenplattformen führen. Die Belange der Verlässlichkeit von Software sollten neu betrachtet und definiert werden.
- Sensoren und Abtaststrategien werden innovative Technologien und Lösungen im Bereich der drahtlosen Kommunikation erforderlich machen. Dies wird in Verbindung mit dem Bau von verbesserten, verlässlicheren und kostenoptimierten Sensoreinheiten sowie sogenannten smart Sensors zu verbesserten Abtaststrategien bei der Verarbeitung großer Datenmengen, intelligenter Datenanalyse und Sensorfusion führen. Offensichtlich ist auch die Notwendigkeit eines Systems zur Messung der Effektivität vernetzter Systeme. Systeme von UAV's sind um einiges anspruchsvoller als individuelle unbemannte Luftfahrzeuge.⁸⁷

Seit Jahrzehnten kämpfen Systemdesigner und Systembetreiber mit der Automation. Die Systemdesigner sagen eine Verringerung der Arbeitslast, Erhöhung der Präzision und eine verbesserte Gesamtleistung des Systems voraus. Systembetreiber arbeiten mit unvollkommener Automation, Systemausfällen und von der Automation verursachten Unfällen. Trotzdem vertrauen wir auf Automation um die Temperatur unserer Häuser zu regeln, den Kaffee zuzubereiten, unsere Daten auf Computern zu sichern und die untergeordneten Tätigkeiten des Alltags zu erledigen. Irgendwie verbessert sich die Automation und die Versprechen erfüllen sich. Der Kampf zwischen Systemdesignern und Systembetreibern spiegelt jenen

⁸⁷ Vgl. Valavanis K. et al, (2012), S. 540.

zwischen Forschern auf dem Gebiet der menschlichen Faktoren (human factors, oder kurz HF) und den Entwicklern der Automationssysteme auf der Seite des Engineerings.

Dieses Kapitel soll einen allgemeinen Überblick über die Erforschung der HF in der Automation geben und in weiterer Folge auf die gegenwärtigen und zukünftigen Bemühungen bei der Automation von UAS eingehen. Die Automation befähigt UAS zum Betrieb im allgemeinen Luftraum. Automation ist ein Mittel der Interaktion des Systems mit dessen Betreiber. Unabhängig von der Absicht des Systemdesigners besitzt die Automation ein Verhalten. Dieses Verhalten interagiert mit dem Verhalten des Betreibers, dem mentalen Modell des Systems aus Sicht des Betreibers und dem Vertrauen des Betreibers in das System. Als Resultat beeinflusst die Automation an sich das Training des Betriebspersonals, die Aufgabenverteilung, Arbeitsbelastung, Situationsbewusstsein, Vertrauen und sogar die Fähigkeiten des Betriebspersonals. Die Automation verändert die Dynamik zwischen dem Betreiber und dem System. Die Automation ist in ihren Fähigkeiten beschränkt und somit nicht als vollwertiger „Team-Spieler“ zu betrachten. Ein System und dessen Automation sind „taub“, können nicht frei kommunizieren und besitzen nur die Fähigkeiten, die der Systemdesigner als notwendig erachtet hat. Von einer sogenannten „Automationsüberraschung“ spricht man, wenn das System nicht oder nicht in der erwarteten Weise reagiert. In diesem Zusammenhang können sowohl die Leistung des Betreibers als auch die Systemleistung durch Forschungsarbeit quantifiziert werden. Diese Forschungen haben zum Ziel, die Kooperation und damit die allgemeine Leistung und Verlässlichkeit zu steigern und die Frustration des Betriebspersonals zu senken. Die Forschungen auf diesem Gebiet lassen sich in mehrere Gebiete einteilen:

- Mentale Arbeitsbelastung des Betreibers (workload),
- Situationsbewusstsein des Betreibers (situational awareness),
- Verlust von Fähigkeiten des Betreibers (skill decrement),

- und das Vertrauen des Betreibers in die Automation um den Auftrag durchzuführen (trust).⁸⁸

⁸⁸ Vgl. Barnhart, R.K., et al., (2011), S. 100.

5 Erfüllung der Kriterien zur Zulassung von Drohnen

Im Folgenden werden einige Vorgehensweisen für die behördliche Zertifizierung von UAS beschrieben. Dies geschieht anhand der Beispiele USA und Europa.

5.1 Gegenwärtige Zertifizierungsmechanismen für UAS⁸⁹

Gegenwärtig und in Übereinstimmung mit den verschiedenen Verwaltungsapparaten unterscheidet man zwischen zwei Arten, die UAS den Zugang zum zivilen Luftraum ermöglichen. Zum einen gibt es die Möglichkeit, eine beschränkte Typenberechtigung und gleichzeitig ein Lufttüchtigkeitszeugnis zu erhalten. Zum anderen kann man eine spezielle Fluggenehmigung erlangen. Die konventionelle Luftfahrt muss andere Anforderungen erfüllen um Zugang zum allgemeinen zivilen Luftraum zu erhalten. Zuerst muss die Konstruktion mit den Vorschriften der zuständigen Behörden (z.B. der European Aviation Safety Agency oder der FAA in den Vereinigten Staaten von Amerika) übereinstimmen, welche die Konstruktion durch eine Typenberechtigung anerkennen. Diese Bescheinigung kann allen Organisationen erteilt werden, die vorher durch ein DOA (design organization approval) o.Ä. zertifiziert wurden. In weiterer Folge muss jedes Flugzeug, das in einem sogenannten POA zertifizierten Betrieb (production organization approval) in Übereinstimmung mit der Zertifizierung gefertigt wurde, ein Lufttüchtigkeitszeugnis erhalten oder eine äquivalente Produktsicherung vorweisen. Des Weiteren muss das Lufttüchtigkeitszeugnis in Übereinstimmung mit dem Wartungsprogramm, das bei einem zertifizierten Wartungsbetrieb durchgeführt wird, erneuert werden. Das Fehlen von Zertifizierungsspezifikationen, die auf UAS angewendet werden können, führt dazu, dass es für UAS unmöglich ist, eine Typenberechtigung und somit ein Lufttüchtigkeitszeugnis zu erlangen. Wenn das Unmögliche eintritt und eine existierende Zertifizierungsspezifikation zur Anwendung kommt, kann eine beschränkte Typenberechtigung unter genau definierten Einschränkungen und unter der Prämisse, dass die Betriebsbedingungen jenen der zur Anwendung kommenden

⁸⁹ Vgl. Angelov P. (2012), S. 99ff

Spezifikation genügen, erteilt werden. Dies ist notwendig, damit die Anwendbarkeit der Zertifizierungsspezifikationen nicht gefährdet wird. Wird beispielsweise ein UAS nur in kontrolliertem Luftraum betrieben, ist es nicht erforderlich, an Bord befindliche Möglichkeiten zur Kollisionsvermeidung zu implementieren. Eine eingeschränkte Typenberechtigung ist jedoch nur dann gültig, wenn ein in Übereinstimmung mit den Anforderungen gefertigtes Luftfahrzeug auch ausschließlich innerhalb der Einschränkungen der Typenberechtigung betrieben wird. Sollte es nicht möglich sein, den oben genannten Bedingungen für eine Zertifizierung zu genügen, ist das Luftfahrzeug jedoch fähig, unter definierten Bedingungen einen sicheren Flug durchzuführen, kann eine Flugerlaubnis erteilt werden.

5.2 Die Situation in Europa⁹⁰

Die EASA fördert die Gestaltung von Standards und Vorschriften für eine sichere und umweltfreundliche allgemeine Luftfahrt in Europa. Bis jetzt sind die Kräfte der EASA in der Vorschrift 216/2008⁹¹ enthalten. Sie umfasst: Lufttüchtigkeit (DOA, POA und MOA), Piloten-Lizenzierungen, Betriebsgenehmigungen, Betreiber aus Drittländern und Fluggenehmigungen. Es muss jedoch festgehalten werden, dass die EASA keine Weisungsbefugnis im Falle von UAS unter einer Abflugmasse von 150 kg oder über Flugzeuge, die explizit für die Forschung, Wissenschaft oder als Flugversuchsträger entwickelt wurden besitzt. Unter diesen Umständen müssen Fluggenehmigungen für UAS von dem jeweiligen Mitgliedsland, in dem das UAS betrieben wird, ausgestellt werden. Unter speziellen Bedingungen versteht man im Allgemeinen:

- Notfallplan
- Leistungsfähigkeit
- Steuer- und Kontrollsystem mit Datenlink
- Grad der Autonomie
- Kontrollstation
- Betriebsart

⁹⁰ Vgl. Angelov P. (2012), S. 101ff

⁹¹ Amtsblatt der Europäischen Union (2008).

- Systemsicherheitsanalyse

5.3 Betrieb und Eingliederung in den zivilen Luftraum

In diesem Abschnitt wird auf die Arbeit der International Civil Aviation Organization (ICAO)⁹² eingegangen und die Prozesse zur Eingliederung von UAV's in den zivilen Luftraum erläutert.

Anfang 2011, als Resultat der von der ICAO ins Leben gerufenen *Unmanned Systems Study Group*, veröffentlichte die Organisation ein Rundschreiben *Cir AN/190*⁹³ mit dem Titel *Unmanned Aircraft Systems*, welches für die Erfüllung folgender Zwecke bestimmt war:

- Die Staaten von der entstehenden ICAO-Perspektive auf dem Gebiet der Integration von UAS in nicht getrennten Lufträumen und auf Flughäfen in Kenntnis zu setzen;
- die Berücksichtigung der fundamentalen Unterschiede zur bemannten Luftfahrt, die eine solche Integration umfasst;
- die Staaten zu ermutigen, bei der Entwicklung solcher ICAO-Richtlinien für UAS zu helfen, indem sie Informationen über ihre eigenen Erfahrungen im Zusammenhang mit UAS bereitstellen.

Die fundamentalen Voraussetzungen, die von der ICAO in diesem Zusammenhang verfolgt werden – unter Berücksichtigung der Tatsache, dass UAV's in die Kategorie *Luftfahrzeug* fallen – sind, dass alle „Standard and recommended practices“ (SARP's) aus den Anhängen zur Chicagoer Konvention, die für Luftfahrzeuge angewandt werden, auch für UAV's gelten. Es muss unterstrichen werden, dass das vorläufige Ziel der Orientierungshilfe der ICAO Empfehlung die Gewährleistung der Sicherheit in der Luftfahrt ist. Dies basiert auf der Tatsache, dass das Risiko eines Zusammenstoßes zwischen einem UAS und einem bemannten Flugzeug in der Luft weltweit zu schweren Sicherheitsbedenken beim Betrieb von UAS führen.

⁹² Vgl. Abeyratne R. (2012), S. 123ff.

⁹³ Quelle: http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf (aufgerufen am 10.02.2013).

Flugunfalluntersuchungen sind dabei in beiden Fällen von höchster Bedeutung, bei Unfällen mit Todesfolge oder mit Personen- und/oder Sachschäden und bei Zwischenfällen, bei denen sich eine Kollision zwischen UAV's und bemannten Flugzeugen vermeiden hat lassen. Des Weiteren helfen die ICAO-Richtlinien zu ermitteln, welcher Aspekt der Operation versagt hat, ob zusätzliche unvorhergesehene Gefahren dazu beigetragen haben, und welche Defizite ausgemerzt werden müssen, um solch eine Situation in Zukunft zu vermeiden. Zu Beginn erwähnt das Rundschreiben ausdrücklich den Artikel 8 der Chicagoer Konvention, welcher eine spezielle Erlaubnis von Seiten des überflogenen Staates für den Überflug durch ein zu unbemannten Flügen fähiges und tatsächlich auch unbemannt operierendes Luftfahrzeug erfordert. In diesem Zusammenhang räumt besagter Artikel 8 alle Unklarheiten im Zusammenhang damit aus, wie ein *pilotenloses Flugzeug* definiert ist, indem er einen weiteren ICAO Artikel zitiert, welcher besagt, dass sich Artikel 8 auf Flugzeuge bezieht, die entweder ferngesteuert oder komplett von einem anderen Ort aus gesteuert werden (beispielsweise von einer Bodenstation, von einem anderen Flugzeug oder vom Weltraum aus)⁹⁴. Eines der Hauptthemen, die von dem Rundschreiben angesprochen werden, ist die Tatsache, dass unbemannte Flugzeuge ein breites Gefahrenspektrum für die allgemeine Luftfahrt mit sich bringen. Diese Gefahren müssen erkannt und die Sicherheitsrisiken minimiert werden, genauso wie bei der Einführung einer neuen Luftraumordnung, neuer Ausrüstung oder Verfahren. In diesem Zusammenhang ist es notwendig, dass die Staaten ein staatliches Sicherheitsprogramm haben, welches die Erstellung von Regeln zur Gewährleistung der Sicherheit, Strategieentwicklung und die Bewahrung der Übersicht beinhaltet. Der Betrieb von UAS in nicht gekoppeltem Luftraum würde nicht nur den Betrieb der kommerziellen, sondern auch jenen der allgemeinen Luftfahrt betreffen.⁹⁵

Das internationale Konzil der International Aircraft Owners And Pilots Association (IAOPA) hat kommentiert, dass eine Regelung zum Betrieb von UAS im allgemeinen Luftraum auch die Einflüsse eines solchen Betriebes auf diesen Luftraum

⁹⁴ Vgl. ICAO Doc 9854 AN/458 (2005).

⁹⁵ Vgl. Abeyratne R. (2012), S. 124f.

berücksichtigen muss. Die IAOPA fügte hinzu, dass, während in kontrolliertem Luftraum nur von Air Traffic Control (ATC) autorisierte und koordinierte Bewegungen stattfinden, jene in unkontrolliertem Luftraum fast zur Gänze auf Anhang 2 (zur Chicagoer Konvention) und auf gegenseitiger Selbstseparation basieren. Da sich die Selbstseparation bei UAS noch in der Versuchsphase befindet und noch einige Zeit zur Perfektionierung benötigen wird, ist die Versuchung groß, unkontrollierte Lufträume mit Einschränkungen zu belegen, um den Betrieb von remotely piloted aircraft (RPA) auch dort zu ermöglichen. Da der unkontrollierte Luftraum fast zur Gänze die Domäne der allgemeinen Luftfahrt ist, will man nicht, dass dies geschieht. Der zweite Punkt, der von der IAOPA angesprochen wurde, ist, dass staatliche oder militärische UAS sich an wie auch immer geartete Betriebsauflagen zu halten haben, die entwickelt wurden um einen sicheren und gefahrlosen Betrieb zu gewährleisten. Da es für nicht zivil operierende UAS durchaus wünschenswert sein mag, in unkontrolliertem Luftraum in geringeren Höhen zu operieren, könnte dies zu einer Tendenz führen, dass Staaten und Militärs sich – temporär oder permanent - über die konventionelle Gesetzgebung in diesen Gebieten hinwegsetzen.

Die Antwort auf diese beiden Punkte ruht offenbar in der Tatsache, dass UAS in Übereinstimmung mit den ICAO-Standards operieren, die sowohl für bemannte Luftfahrzeuge gelten, als auch für spezielle und spezifische Standards, die operative, rechtliche und sicherheitstechnische Unterschiede zwischen bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen betreffen. Dies umfasst auch anwendbare Umweltauflagen und Richtlinien. Um UAS im unkontrollierten Luftraum und auf unkontrollierten Flugplätzen zu integrieren, wird ein Pilot für den Betrieb verantwortlich sein. Piloten können Technologien und Ausrüstung wie z.B. einen Autopilot nutzen, um sie in der Ausführung ihrer Aufgaben zu unterstützen, jedoch wird die Verantwortung des Piloten unter keinen Umständen von irgend einer Technologie in absehbarer Zukunft ersetzt werden. Um eine höhere Effizienz bei der Identifizierung des Piloten zu erzielen, hat die Richtlinie das Konzept des *remotely piloted aircraft* (RPA) vorgestellt, welches ein Unterbegriff des *unmanned aircraft* im Lexikon ist. Ein RPA ist ein Luftfahrzeug, das von einem lizenzierten Piloten von einer entfernt gelegenen Kontrollstation, die sich nicht im Flugzeug befindet (z.B. am Boden, auf einem Schiff, in einem anderen Flugzeug oder im Weltraum), aus

gesteuert wird, welcher das Flugzeug permanent beobachtet und auf Anweisungen der Flugverkehrskontrolle reagieren kann, der entsprechend den Anforderungen des Betriebs oder Luftraumes über Sprachfunk oder Datenlink kommuniziert und während des gesamten Fluges die Verantwortung für dessen sichere Durchführung trägt. Ein RPA kann mit verschiedensten automatischen Steuerungsvorrichtungen ausgerüstet sein, jedoch kann der Pilot zu jedem Zeitpunkt in dessen Betrieb eingreifen. Diese Möglichkeit gleicht jener des Piloten eines bemannten Flugzeuges, jederzeit in die Steuerung einzugreifen, auch wenn dieses von einem Autopilot geflogen werden kann. Aus rechtlicher Sicht und in Übereinstimmung mit Artikel 3 der Chicagoer Konvention, welcher u.a. vorschreibt, dass teilnehmende Staaten in Ausübung ihrer Unabhängigkeit unter Umständen berechtigt sind ein nicht autorisiert über dem jeweiligen Staatsgebiet operierendes Luftfahrzeug zur Landung auf einem bestimmten Flugplatz aufzufordern, muss der Pilot eines RPA dementsprechend die Möglichkeit haben, elektronisch oder visuell auf Anweisungen des Staates zu reagieren und zu dem spezifizierten Flugplatz entsprechend der Anweisungen auszuweichen. Die Anforderung, auf visuelle Anweisungen reagieren zu können, kann sich stark auf Zertifizierungsprozesse des Erkennungssystems eines RPA auswirken. Im Zusammenhang mit Kollisionsvermeidung ist der Pilot eines RPA laut dem Rundschreiben ebenso verantwortlich für die Vermeidung von Kollisionen und anderen Gefahren wie der Pilot eines bemannten Flugzeuges. Des Weiteren wird vorausgesetzt, dass Technologie, die dem Piloten hinreichende Kenntnis über das Umfeld des Luftfahrzeuges verschafft, in das RPA integriert sein muss, entsprechende korrespondierende Ausrüstung der Bodenstation mit eingeschlossen. Darüber hinaus gelten für Piloten eines RPA - ungeachtet dessen, dass sie sich nicht an Bord des Flugzeuges befinden – dieselben Regeln wie für Piloten eines bemannten Flugzeuges, von denen erwartet wird, dass sie eine Vielzahl von visuellen Signalen beobachten, beherzigen und interpretieren, die dafür vorgesehen sind, ihre Aufmerksamkeit zu erregen oder Informationen zu übermitteln. Solche Signale können von Lichtern, über pyrotechnische Signale für den Verkehr im Umfeld eines Flughafens bis hin zu Signalen, die von kreuzenden Flugzeugen verwendet werden, reichen. Dies würde die Entwicklung und Zulassung von alternativen Möglichkeiten zur Erfüllung solcher Auflagen erfordern. Im Hinblick auf air traffic management (ATM) beschreibt das Rundschreiben, dass unabhängig davon, ob ein Luftfahrzeug ferngesteuert oder bemannt ist, der zur Verfügung gestellte

Luftverkehrsdienst im Rahmen der Möglichkeiten weitestgehend ein und derselbe bleibt.⁹⁶ Es wird darin weiter festgehalten, dass die Eingliederung von RPA nicht das Risiko für andere Flugzeuge oder Dritte erhöhen oder den Zugang zu Lufträumen verhindern oder einschränken darf. ATM-Verfahren zur Handhabung von RPA sollen mit denen bemannter Flugzeuge übereinstimmen, wo immer dies möglich ist. Es wird Umstände geben, unter denen der Pilot eines RPA nicht auf dieselbe Art und Weise reagieren kann, wie jener eines bemannten Flugzeuges und das Rundschreiben ruft dazu auf, diese Unterschiede in den ATM-Verfahren zu berücksichtigen. Zu diesem Zweck müssen die Anforderungen an die Kommunikation zwischen ATM und Piloten eines RPA im Rahmen einer ATM-Veranstaltung beurteilt werden, welche menschliches Zusammenwirken, Verfahren und Umweltcharakteristika berücksichtigen müssen.⁹⁷

Der Ansatz eines Sicherheitsmanagementsystems sollte auch verfolgt werden, um die Eignung einer Kommunikationslösung zu ermitteln. Der Informationsaustausch zwischen der Flugverkehrskontrolle und dem Piloten eines RPA wird wahrscheinlich dasselbe Niveau an Verlässlichkeit, Kontinuität und Integrität - kurz QOS – erfordern, wie dies bereits jetzt bei bemannt operierenden Flugzeugen im selben Luftraum, in dem auch ein unbemanntes Luftfahrzeug betrieben werden sollte, erforderlich ist. Der Austausch von Kontrollinformationen zwischen dem RPA und dessen Kontrollstation wird ein hohes Niveau an Verfügbarkeit, Verlässlichkeit, Kontinuität und Integrität erfordern. Der Ermittlung der geforderten Kommunikationsleistung und die angegliederten QOS-Niveaus liegt die Funktionalität unter Berücksichtigung des Bereitstellungsgrades von air traffic services (ATS) zugrunde. Im Zusammenhang mit dem Flugplatzbetrieb und UAS geht die Richtlinie darauf ein, dass die Integration von RPA in den Betrieb auf Flughäfen eine der größten Herausforderungen darstellen wird. Zur Debatte steht die Bereitstellung von Möglichkeiten für Piloten von RPA, die physische Beschaffenheit von Flughäfen und deren Ausrüstung wie Landelichter und Markierungen in Echtzeit zu identifizieren, um das Flugzeug sicher und korrekt zu steuern. Das Rundschreiben sieht vor, dass RPA fähig sein müssen, innerhalb

⁹⁶ Vgl. ICAO Circular (2011), S. 7.

⁹⁷ Vgl. Abeyratne R. (2012), S. 125f.

existierender Parameter des Flughafens zu funktionieren. Flughafenstandards sollen nicht signifikant geändert werden und die für RPA entwickelte Ausrüstung muss im Rahmen der Möglichkeiten den existierenden Bestimmungen entsprechen. Überdies muss die Bereitstellung von ATS harmonisiert werden, wo immer RPA und bemannte Luftfahrzeuge parallel betrieben werden.⁹⁸

Die Meteorologie ist ein weiteres Element, welches in den Betrieb von UAS korrekt koordiniert werden muss. Das Rundschreiben hebt hervor, dass meteorologische Informationen in der Sicherheit, Vorschriftsmäßigkeit und Effizienz der internationalen Luftfahrtnavigation eine große Rolle spielen und den Nutzern entsprechend den Anforderungen der jeweiligen Funktion zur Verfügung gestellt werden. Meteorologische Informationen, die Betreibern und fliegendem oder fernsteuerndem Personal zur Verfügung gestellt werden, umfassen den Flug hinsichtlich Zeit, Flughöhe und geographischem Gebiet. Demzufolge steht die bereitgestellte Information in Zusammenhang mit fixen Zeiten oder Perioden und erstreckt sich bis zum Zielflughafen. Sie umfassen ebenfalls meteorologische Bedingungen, die zwischen dem Zielflughafen und dem vom Betreiber gewählten Ausweichflughafen zu erwarten sind. Meteorologische Dienste sind entscheidend für die Planung, Durchführung und den sicheren Betrieb der internationalen Luftfahrt. Da sich der Pilot eines RPA nicht an Bord des Flugzeuges befindet, ist es möglich, dass er die meteorologischen Bedingungen und deren Effekte auf das Flugzeug nicht in Echtzeit einschätzen kann, daher ist das Einholen solcher Information von geeigneten Quellen vor und während des Fluges für den sicheren Betrieb entscheidend.⁹⁹

Die Richtlinie erkennt den Anhang 3 zur Chicagoer Konvention - *Meteorological Service for International Air Navigation an*, welcher für registrierte Flugzeuge vorsieht, dass sie automatisierte Routinebeobachtungen entlang internationaler Flugrouten durchführen, sofern sie über entsprechende Ausrüstung verfügen. RPA müssen nicht über eine solche Ausrüstung verfügen. Ebenso wird von allen

⁹⁸ Vgl. Abeyratne R. (2012), S. 127f.

⁹⁹ Vgl. Abeyratne R. (2012), S. 126f.

Flugzeugen erwartet, dass sie speziell beobachten, wann immer starke Turbulenzen, Vereisungsbedingungen, Föhnwellen, Gewitter, Hagel, Staub, Stein oder Vulkanasche während eines Fluges auftreten. Jedoch ist es möglich, dass RPA diese Verpflichtungen nicht erfüllen können, da der Pilot nicht im Flugzeug sitzt und das Flugzeug vielleicht nicht mit entsprechenden Sensoren ausgerüstet ist, um diese Phänomene zu beobachten. Des Weiteren wird festgehalten, dass im Gegensatz dazu speziell für solche Zwecke ausgerüstete RPA meteorologische Bedingungen messen und zu Sensoren am Boden übermitteln können. Diese Flugzeuge könnten möglicherweise unter Bedingungen und an Orten eingesetzt werden, unter denen keine bemannten Flüge sicher durchgeführt werden können, wie z.B. in Hurrikans, konvektiven Wetterlagen oder in der direkten Umgebung von vulkanischer Asche und/oder Gasen. Eines der entscheidenden Elemente beim Betrieb von UAS ist die Sicherheit des Systems, ebenso wie dies bei RPA der Fall ist, mit Aspekten die sowohl ähnlich, als auch einzigartig im Vergleich mit bemannten Flugzeugen sein können. Die prinzipielle zweck- und ausstattungsmäßige Ähnlichkeit eines Cockpits mit der Bodenkontrollstation eines RPA endet bei den vergleichsweise hohen Anforderungen an die Sicherheit vor Sabotage und gesetzeswidriger Beeinflussung der Bodenstation.¹⁰⁰

¹⁰⁰ Vgl. Abeyratne R. (2012), S. 127.

6 Kostenfaktoren

Im Folgenden wird auf die Bewertung der Kosten für die Markteinführung einiger Varianten von UAS, sowie auf jene des laufenden Betriebs eingegangen.

6.1 Kosten-Nutzen-Analyse von bereits etablierten Systemen

Laut der Autoren Tsach, Penn und Levy der Israel Aircraft Industries (IAI)¹⁰¹ sind die Gesamtkosten des Betriebs von UAS eine Funktion des Einsatzszenarios, die durch folgende Größen bestimmt werden:

- Anzahl der betriebenen UAV's
- Flugstunden pro Jahr für jedes UAV (Bereitschaftsgrad)
- Betrieb von einer fixen oder mobilen Basis aus
- Durchgehender oder unterbrochener Betrieb

Die Gesamtkosten sind die Summe der direkten (DOC) und der indirekten (IOC) Betriebskosten.

Die direkten Betriebskosten können durch folgende Maßnahmen reduziert werden:

- Reduktion des Betriebspersonals:
 - Automation und Autonomie
 - Neue Betriebskonzepte
 - Automatische Starts und Landungen
- Wartungseinsparungen:
 - Automatische Zustandsüberwachung und Kontrolle
- Mehr elektronische Kontrolle
- Mehr elektrische Systeme

Die Autoren führen weiters an, was die indirekten Betriebskosten beeinflussen kann:¹⁰²

¹⁰¹ Vgl. Tsach S. et al, (2002) S. 131.9.

- Neue Konzepte des Trainings für Betriebspersonal
- Organisation der Arbeitskraft
- Organisation der Infrastruktur

Die gesamten Betriebskosten pro Flugstunde für die nächste Generation von UAV's wird sich voraussichtlich um den Faktor 5 reduzieren. Diese Annahme berücksichtigt auch, dass sich die Einsatzdauer von UAV's vermutlich verdoppeln wird.

6.2 Definition des Return on Investment (ROI)

Der ROI ist eine Leistungsmessung, welche die Effizienz einer Investition bewertet, oder die Effizienz verschiedener Investitionen miteinander vergleicht. Um den ROI zu berechnen wird der Nutzen (engl. Return) durch die Kosten (engl. Cost) einer Investition dividiert; das Ergebnis ist ein Prozentsatz oder ein Verhältnis.¹⁰³

Die ROI-Formel lautet:

$$\text{ROI} = \frac{\text{Gain from Investment} - \text{Cost of Investment}}{\text{Cost of Investment}}$$

Abbildung 28: Formel ROI¹⁰⁴

In der obigen Formel bezieht sich „Gain from Investment“ (Gewinne aus der Investition) auf das Resultat des Verkaufes der betreffenden Investition. Der ROI ist auf Grund seiner Einfachheit und Vielseitigkeit eine sehr verbreitete Bewertungsmethode. Daher sollte eine Investition, die keinen positiven ROI besitzt, oder im Fall, dass es andere Möglichkeiten mit einem höheren ROI gibt, nicht getätigt werden.¹⁰⁵

Man sollte bedenken, dass die Kalkulation für den ROI und folglich die Definition situationsabhängig modifiziert werden können – es hängt alles davon ab, was als Gewinne/Kosten definiert wird. Die Definition des Begriffs im weitesten Sinne

¹⁰² Vgl. Tsach S. (2002) S. 131.9.

¹⁰³ Vgl. Investopedia o. V. (2013).

¹⁰⁴ Vgl. Investopedia o. V. (2013).

¹⁰⁵ Vgl. Investopedia o. V. (2013).

versucht lediglich die Profitabilität einer Investition zu bewerten, daher gibt es die eine, „richtige“ Kalkulation nicht.¹⁰⁶

Ein Vermarkter kann beispielsweise zwei verschiedene Produkte vergleichen, indem er den Gesamtprofit den jedes Produkt generiert hat durch seine entsprechenden Vermarktungskosten dividiert. Ein Bilanzanalytiker kann dieselben Produkte wiederum vergleichen, indem er einen völlig anderen ROI-Ansatz verwendet, wie z.B. den Nettoerlös einer Investition dividiert durch den kompletten Wert aller Ressourcen, die in die Herstellung und den Verkauf geflossen sind.¹⁰⁷

Diese Flexibilität hat den Nachteil, dass ROI-Berechnungen sehr manipulierbar sind und auf die Zwecke des Nutzers abgestimmt werden können. Darüber hinaus können die Resultate auf viele verschiedene Arten ausgedrückt werden. Bei der Verwendung dieser Methode ist das völlige Verständnis der der Berechnung zugrundeliegenden Eingangsdaten Voraussetzung.¹⁰⁸

6.3 Bewertung verschiedener Marktbearbeitungsstrategien anhand eines ROI-Tools

Das letzte Jahrzehnt zeigte ein starkes Wachstum bei der Produktion von UAV's und deren Fortschritt auf dem Gebiet der Autonomie. Viele Hersteller von UAV's konzentrierten sich stark auf die Verbesserung der Effizienz und entwickelten z.T. sehr komplexe Systeme um die Autonomie der UAV's zu verbessern und in weiterer Folge die Einsatzflexibilität und somit das Verwendungsspektrum zu erhöhen. Die Hersteller von UAV's haben viele Innovationen bei der Entwicklung hervorgebracht. Proxity Digital Networks Inc. hat ein „CyberBug“ genanntes Micro-Mini-UAV entwickelt, das zum Preis von \$ 5500 zu haben ist. General Atomic's Predator und Northrop Grumman's Global Hawk kosten in etwa \$ 500 bzw. \$ 26.500 im Betrieb, während der Kaufpreis \$ 4,5 Mio. bzw. \$ 35 Mio. beträgt. Die meisten UAV's fliegen nicht mehr als 10 Stunden pro Flug, was sich erheblich auf die Kosteneinsparung auswirkt. Im Juni 2009 eröffnete Boeing eine neue Abteilung für unbemannte

¹⁰⁶ Vgl. Investopedia o. V. (2013).

¹⁰⁷ Vgl. Investopedia o. V. (2013).

¹⁰⁸ Vgl. Investopedia o. V. (2013).

Systeme, unter deren Dach nun alle firmeneigenen UAS-Projekte zusammen geführt sind, um bei der Akquise von Militäraufträgen besser positioniert zu sein. Laut Firmenschätzungen wird das Marktvolumen über die nächsten zehn Jahre bei \$ 160 Mrd. liegen. Dies erklärt das Bestreben, hier einen größeren Marktanteil zu erlangen. Die USA haben ihr Engagement im Bereich der UAV's deutlich erhöht, was sich in der hohen Anzahl an UAV-Flugstunden verdeutlicht (800.000 Flugstunden), die sich in Afghanistan und im Irak (excl. Flüge von kleinen UAV's) 2009 zusammen getragen haben. Dies stellt den Wert von 2003 (35.000 Flugstunden) völlig in den Schatten. Das U.S. Verteidigungsministerium hatte geplant in den vergangenen 6 Jahren mehr als \$ 22 Mrd. für die Entwicklung, Kauf und Betrieb von UAS auszugeben. Jedoch ist zu erwarten, dass die großen UAV's, in die das Militär investiert hat, viel teurer werden, da komplexere Waffensysteme in der Nutzlast der UAV's integriert werden.¹⁰⁹

Der Trend der Entwicklung von UAV's hat in den USA und Europa stark zugenommen. Die Israelischen Streitkräfte haben ihre Flotte von 2007 bis 2009 verdreifacht und Israel befindet sich auf Platz 2 hinter den USA bei der Entwicklung und der Anzahl von UAV's. Die Ausgaben für UAV's in den USA stiegen von \$ 300 - \$ 400 Mio. im Jahr 2008 auf über \$ 1 Mrd. im Jahr 2010. Dieser Trend veranlasste das Pentagon zur Prognose, dass im Jahr 2020 1/3 der amerikanischen Kampfflugzeuge Roboter sein werden. Darüber hinaus veranlasste der Trend die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) einen Vertrag mit Boeing über \$ 89 Mio. für den Bau der „SolarEagle“ abzuschließen, die im Endeffekt für über 5 Jahre in einer Höhe von 60.000 Fuß operieren kann. In Zypern haben Forscher ein UAV entwickelt, das schlechten Wetterbedingungen widerstehen soll, indem es seine Form ändert.¹¹⁰

Die U.S. Marine ist in vielen Anwendungsgebieten ein primärerer Betreiber von UAV's geworden. Zusätzlich hat die Marine ein hoch fliegendes, automatisiertes Luftfahrzeug beantragt, das 200 Meilen zu einem Einsatzort fliegen und dort für fast 24 Stunden Aufklärungsdaten ermitteln können soll. Das BAMS-Programm (Broad Area Maritime Surveillance) repräsentiert das erste großangelegte Entwicklungs-

¹⁰⁹ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 22f.

¹¹⁰ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 23.

programm zum Einsatz von UAV's für die Überwachung von strategisch wichtigen Schiffsrouten, Häfen und anderen Regionen, die unter dem Schutz von US-Kriegsschiffen stehen. Die Marine hat darüber hinaus eine modifizierte Variante der General Atomics Predator unter dem Namen „Mariner“ entwickelt, was Northrop Grumman wiederum dazu bewog, der Marine ebenfalls eine modifizierte Variante der Global Hawk anzubieten. Die U.S. Marine plant außerdem eine Flotte von unbemannten Aufklärungsflugzeugen in ausreichender Zahl an fünf Basen zu stationieren, um Aufklärungsdaten von strategisch wichtigen Ozeanen bereitzustellen. Dieses Gesamtsystem sollte bereits 2013 voll einsatzbereit sein.¹¹¹

Da der UAV-Markt weiterhin mit einer Auswahl von Herstellern gesättigt ist, müssen Firmen ein einzigartiges Unterscheidungsmerkmal finden um einen größeren Kundenanteil zu gewinnen. Boeing wird weiterhin auch Produkte für den zivilen Markt entwickeln um im gesamten UAV-Markt einen größeren Hebel zu gewinnen. Die UAV-Technologie hat in den letzten Jahrzehnten hauptsächlich militärische Anwendungen hervorgebracht, mit gelegentlicher Gewichtung für zivile Anwendungen. Die Zukunft der erfolgreichen Integration von UAV-Missionen in den gemeinsam genutzten Luftraum hängt nicht nur von der Entwicklung von Standards für zivile Anwendungen ab, sondern auch von der Verfügbarkeit entsprechender Technologien zur Überprüfung der „verlässlichen Autonomie“ von UAV's. Die Entwicklung der Technologieabschätzung war bisher nur eingeschränkt möglich, da es schwierig ist, die Leistung und Betriebssicherheit auf verschiedenen Niveaus zu bewerten. Die erfolgreiche Integration von UAS in den zivilen Luftraum hängt von Verbesserungen im Design und erweiterten Möglichkeiten von UAS, Bestimmungen zur Zertifizierung und Technologien zur Bewertung der Betriebssicherheit ab. Gegenwärtig gilt nur ein geringer Prozentsatz der Bestimmungen für bemannte Luftfahrzeuge auch für UAS.¹¹²

Um das breite Spektrum der Fehleranalyse zu verkleinern kann die stabile Autonomie als Charakteristik gesehen werden, die es einem unbemannten Luftfahrzeug erlaubt, den Betrieb trotz vorhandener Störungen sicher fortzusetzen oder eine sichere Systemabschaltung zu gewährleisten. Um Verlässlichkeit im

¹¹¹ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 23f.

¹¹² Vgl. Liu E. W. (2012) S. 24.

notwendigen Umfang zu erzielen, müssen UAS über Mechanismen verfügen, die die Sicherheit der Orientierung, Kommunikation und Steuerung verbessern. Fault tolerant control (FTL) - auch fehlertolerante Steuerung genannt - kann zur Verlässlichkeit des Systems beitragen, da dies in weiterer Folge die Wahrscheinlichkeit von Komponentenausfällen und den Umgang mit Fehlerzuständen beeinflusst und damit komplette Systemausfälle verhindern könnte. Da eine geeignete Simulationsumgebung für dynamische Verhaltensweisen von UAS mit teilweise ausgefallenen Systemen sehr komplex aufgebaut sein und ein breites Spektrum von Flugzuständen abdecken muss, gestaltet sich deren Realisierung schwierig und aufwendig.¹¹³

Die Entwicklung von selbstständigeren, kostengünstigen und kleinen UAV's stellte auch eine Herausforderung dar. Netzwerkfähigkeit, Rechnerleistung und mangelnde Ressourcenintegration waren vor kurzem die drei limitierenden Faktoren bei der Entwicklung von kleinen autonomen UAV's. Kleine UAV's besitzen nur eine eingeschränkte Rechenleistung, da sie nicht über die gleichen Energieressourcen oder Prozessortypen verfügen können, wie diese in größeren UAV's möglich sind. Bei der Produktion von kleineren UAV's liegt der Großteil der Herstellungskosten für eine Einheit nicht im Flugwerk, sondern im Kontrollsystem. Selten verfügen kleinere UAV's über große Kapazitäten an Rechenleistung. Nichtsdestotrotz hat die Zahl an verschiedenen Zellen-Konzepten und Computerhardware für UAV's stark zugenommen, was größere Flexibilität bei der Entwicklung kleinerer, kosteneffektiverer Systeme in Aussicht stellt.¹¹⁴

In den USA hinkt die Weiterentwicklung der zivilen unbemannten Technologien hinter den militärischen her, da es noch einige ungeklärte rechtliche und technische Sachverhalte gibt. Wie bereits erwähnt dominiert der militärische Markt auf Grund deutlich geringerer betrieblicher Zwänge den Sektor der unbemannten Luftfahrt. Strenge Luftraumbeschränkungen, unterentwickelte Technologien und mangelnde finanzielle Ressourcen waren bisher die Hauptbarrieren für das Wachstum des zivilen UAV-Marktes in den USA. Bisher war die NASA in den USA der größte Kunde für zivile UAV's, welche hauptsächlich im Katastrophenschutz und für

¹¹³ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 24f.

¹¹⁴ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 25.

Notfallmaßnahmen (desaster relief and emergency response - DRER) eingesetzt werden. UAV-Systeme haben das Potenzial, die Wirkung von DRER-Maßnahmen erheblich zu verbessern, indem sie die Ersthelfer-Möglichkeiten erweitern und eine frühe Wahrnehmung von Situationen ermöglichen. Dennoch kann der Einsatz solcher UAV's größere Investitionen in Datenbanken- und Kommunikationstechnologien erforderlich machen, während sich konventionelle Systeme mit einer simplen Satelliten- oder Funkverbindung begnügen. Die Aussicht auf diese erhöhten Kosten hat eine sehr abschreckende Wirkung auf die Einführung von zivilen UAV-Anwendungen in größerem Umfang und die Fortführung der Entwicklung von größerer Autonomie für zivile Missionen.¹¹⁵

Hohe Unfallraten erweisen sich ebenfalls als hinderlich für die Verbreitung von UAV's. Obwohl im Laufe der letzten fünf Jahrzehnte in die Verlässlichkeit von UAV's investiert wurde um Betriebsstörungen fast auszuschließen, trägt das Erfahrungsniveau von UAV-Betriebs- und Wartungspersonal erheblich zu den Störfällen bei. Viele der erfahrensten Operators/Maintainers trennen sich von ihrer Aufgabe, oder wechseln in andere Aufgabenbereiche.¹¹⁶

Die Hinderungsgründe für zivile UAV-Anwendungen zeigen sich auch anhand mangelnder Abnahmeverpflichtung seitens des Militärs gegenüber UAV's und UAV-Technologien. Die Praxis, ein militärisches Programm in Auftrag zu geben und es dann zu Gunsten eines anderen, vielversprechenderen Systems wieder zu kündigen plagt den UAV-Markt seit Jahren. Obwohl große Fortschritte in Richtung Autonomie stattgefunden haben, ist Inoperabilität ein Diskussionspunkt, da das Missionsmanagement die Streckenplanung, die Steuerung, die Kommunikation, das Sensortracking und den Datenaustausch teilweise oder vollständig beinhaltet. Diese komplexen Zusammenhänge sind lediglich eine Komponente, die beim Vorrücken von UAV's in zivile Märkte berücksichtigt werden muss.¹¹⁷

Trotz der erwähnten Einschränkungen konnten UAV-Kunden von den fortwährenden Verbesserungen, die in Richtung Autonomie erzielt wurden, profitieren. Vor der Einführung von UAV's wurden oft Militäreinheiten in feindliches Gebiet entsandt, um

¹¹⁵ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 25f.

¹¹⁶ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 26.

¹¹⁷ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 26.

Informationen zu sammeln. Abhängig von den Fähigkeiten der Soldaten und der Sicherheitsvorkehrungen des Feindes war diese Vorgehensweise immer mit Risiken verbunden und das Leben des Personals im feindlichen Gebiet stand auf dem Spiel. Mit fortschreitender Autonomie gibt es wenig bis keine Notwendigkeit der Anwesenheit eines menschlichen Operators an Bord des Flugzeuges mehr.¹¹⁸

Der zweite Vorteil von Autonomie in UAV's ist die gebotene Kosteneinsparung am Flugzeug selbst. Je raffinierter und hochentwickelter die Autonomie-Technologie, desto besser kann ein UAV variierende Bedingungen selbst bewältigen. Mit einer so präzisen Entscheidungsfindung für die meisten Situationen, gibt es weniger Notwendigkeit, die UAV's durch eine große Anzahl an Betriebspersonal zu beobachten. Durch die geringere Anzahl an Betriebspersonal müssen auch weniger Lohnkosten in die Betriebskosten der UAV's eingerechnet werden. Fortschrittlichere und widerstandsfähigere Technologien führen zu geringeren Wartungs- und Servicekosten und in weiter Folge auch zu geringeren Produktionskosten.¹¹⁹

Trotz dieser Vorteile für Hersteller und Kunden muss auch auf die beiden Hauptnachteile eingegangen werden. Der erste Nachteil ist die wahrgenommene Sicherheit von zivilen Menschenleben, wenn UAV's über dicht besiedeltem Gebiet betrieben werden. Obwohl die Selbstständigkeit der Software in UAV's weit entwickelt ist und als sehr verlässlich gilt, gibt es Kritiker, die Gefahren für Zivilpersonen oder Objekte am Boden durch außer Kontrolle geratene UAV's befürchten. Diese Befürchtungen gelten nicht so sehr für dünn besiedelte Gebiete wie für Ballungsräume. Wenn ein UAV außer Kontrolle gerät und nicht von einem Operator gemanagt wird, könnten Zivilisten am Boden und in der Luft in Gefahr geraten. Angesichts dieser Gefahren ist es verständlich, dass Behörden die für UAV's geltenden Restriktionen im allgemeinen Luftraum nur sehr zögerlich und mit Vorbehalt lockern.¹²⁰

Der zweite große Nachteil der Autonomie von UAV's ist die Verringerung der Flugerfahrung für im Training befindliche Operators. Da diese fortschrittliche Technologie ein direktes Eingreifen des Betriebspersonals immer seltener notwendig

¹¹⁸ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 27.

¹¹⁹ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 27.

¹²⁰ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 27f.

macht, wird auch die sog. „Hands on Experience“ auf Seiten des Personals verringert. Da die erforderliche Zeit des Trainings für eine Operator-Lizenz kontinuierlich zunimmt, führt das zu einem Engpass an Betriebspersonal, der noch durch die steigende Zahl an verkauften UAV's verstärkt wird.¹²¹

Die ScanEagle ist Boeings meistbeachtetes UAV und bietet modernste Technologien, die es erlauben sehr flexibel verschiedensten Aufgaben gerecht zu werden. Da der UAV Markt bisher stark auf Bundesebene konzentriert ist, stellt die Regierung die größte Kundenbasis für die ScanEagle dar. Trotzdem investiert die US-Regierung auch substantiell in andere UAV-Projekte. Daher wollen Firmen auch stark in den zivilen Markt vordringen, vergangene Versuche seitens der UAV-Hersteller, Einnahmen zu generieren oder Kosten zu senken, konzentrierten sich stark auf die physikalische Charakteristik der UAV's oder ihrer Nutzlast, wie z.B. Größe, Form und Gewicht. In der Softwareindustrie wird als allgemein anerkannt angesehen, dass die Komplexität eines Programms mit dessen Preis in Zusammenhang steht. Dies kann als wesentliches Unterscheidungsmerkmal in Bezug auf die Qualität eines Programms gegenüber jenem eines anderen Anbieters erachtet werden. Hersteller von UAV's können ihren Produkten durch solche Technologien mehr Innovation und Einzigartigkeit verleihen, wenn sie autonomen Systemen mehr Aufmerksamkeit schenken.¹²²

Component Portion	Average Value	Maximum Decrement	Probability of MaxDec	Maximum Increment	Probability of MaxInc
Component Cost	8%	1%	5%	1%	5%
Autonomy Level	2	1	5%	1	5%
Operator Certification Level	0.46	0.06	15%	0.04	25%
Operator Control	10%	5%	10%	15%	10%
Autonomy Necessity	67%	23%	35%	13%	20%
Software Failure	10%	5%	50%	15%	15%
Support Engineers	4	1	10%	2	10%
Bugs	4	1	33%	1	25%
Lines of Code	10000	1500	15%	1500	15%
Software Risk					
False Alarm Potential	10%	5%	50%	10%	25%
Safety over Operator Control	80%	25%	20%	15%	20%
Autonomy Risk					
Software Cost					
Maintenance Cost	\$ 1,000.00	\$ 250.00	25%	\$ 250.00	25%
Operation Cost	\$ 3,500.00	\$ 1,000.00	25%	\$ 500.00	25%
Total Cost					

Return to Previous Menu

Abbildung 29: Screenshot des Modellierungstools¹²³

¹²¹ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 28.

¹²² Vgl. Liu E. W. (2012) S. 28f.

¹²³ Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 7. S. 30f.

Wie bereits eingangs erwähnt haben Hersteller bis jetzt noch keine Standards oder Leitfäden für Autonomieniveaus von UAV's für Businessstrategien eingeführt.¹²⁴

Hersteller von UAV's begegnen dem Mangel an UAV's im zivilen Sektor derzeit damit, dass sie Pläne und Angebote für den Zeitpunkt vorbereiten, an dem die staatlichen Luftraumbeschränkungen gelockert werden (womit die US-Regierung in den letzten Monaten begonnen hat). Das neue, in dieser Arbeit beschriebene Marketing Tool (Siehe Abb.) wird verwendet um Boeing zu helfen, die entscheidenden Aspekte der UAV Produktion im Detail zu verstehen, um mit den steigenden Kosten von UAV's im Allgemeinen besser umgehen zu können. Zivile Kunden sind tendenziell kostenbewusster als ihre staatlichen Pendanten, was UAV-Hersteller inklusive Boeing zwingt, auf Kostenunterschiede und Änderungen sensibler einzugehen. Das hier vorgestellte Tool soll helfen mit diesem Dilemma besser umzugehen.¹²⁵

Im Idealzustand können alle UAV-Charakteristika, Komponenten und Funktionen in dem Tool abgebildet und quantifiziert werden. Gegenwärtig sind noch keine Kosten-Nutzen-Daten für UAV's fertig verfügbar. Selbst wenn das Tool in seiner finalen Version fertig ist, müssen immer noch Beispieldaten in die Toolparameter eingegeben werden. Deshalb bauen Komplexität und Menge der möglichen Datenfelder auf den angestrebten Fähigkeiten zukünftiger Versionen des Tools auf. Das Modellierungstool wurde ursprünglich mit VBA in Excel erstellt, was die Transportierbarkeit erheblich verbessert. Jeder der primären Stakeholder des Tools (Abteilungsleiter, Ingenieure, Betriebswirte) sollte die Möglichkeit zur Anpassung haben, um es für die gewünschten Spezifikationen und Verhaltensweisen vorzubereiten. Zusätzlich wurde das Tool in VBA erstellt, um Daten schneller und effizienter zu verarbeiten und die Primärfunktionen automatisch zu starten. Die VBA-Makros erlauben den Betrieb mit weniger User-Interaktion mit dem Tool-Interface.¹²⁶

¹²⁴ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 29.

¹²⁵ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 30.

¹²⁶ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 30f.

Da man noch auf keine andere Fallstudie zurückgreifen kann um dieses Modellierungstool darauf aufzubauen, kann die gegenwärtige Version als Proof-Of-Concept-Tool für Boeing wirken.¹²⁷

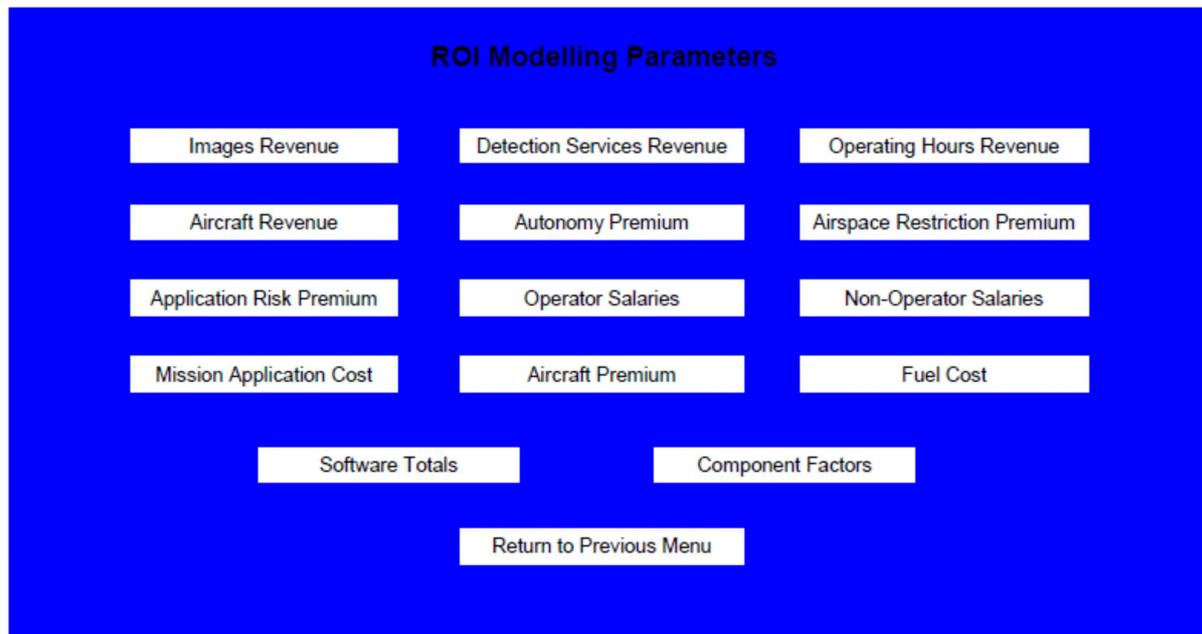


Abbildung 30: Gegenwärtige Komplexität des Modellierungstools¹²⁸

Auf Grund der derzeit geltenden Einschränkungen des allgemeinen Luftraums in Bezug auf den Betrieb von UAV's, ist eine Expansion in den zivilen Sektor derzeit noch schwierig. Obwohl viele zivile Firmen für den regulären Einsatz von UAV's im Rahmen ihrer Dienstleistung offen sind, ist die Freiheit, wo UAV's eingesetzt werden dürfen, noch nicht gegeben und es gibt hohe Geldstrafen bei bewusster Gefährdung von Zivilisten. Beispielsweise können UAV-Operators ihre Luftfahrzeuge immer noch nicht in die Nähe von Metropolen steuern, wo Leben und Sicherheit einer großen Zahl an Menschen gefährdet wären. Die Expansion in den zivilen Markt muss schrittweise erfolgen, da der Fortschritt vom Wohlwollen der Regierung abhängt. Die Regierung ist die Entität mit der größten Macht über das Schicksal des zivilen UAV-Marktes und hat bereits damit begonnen, die nationalen Luftraumbeschränkungen für UAV's zu lockern. Es kann somit damit begonnen werden, UAV's an zivile Dienstleister zu liefern. Jeder Versuch eines Herstellers zum jetzigen Zeitpunkt auf

¹²⁷ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 31.

¹²⁸ Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 88. S. 31.

dem zivilen UAV-Markt Fuß zu fassen, wird für eine Führungsposition am Markt entscheidend sein. Nun, da die staatlichen Luftraumeinschränkungen bis zu einem bestimmten Grad gelockert werden, wären die Hersteller gut beraten, so viele Anfragen aus dem zivilen Sektor wie möglich zufrieden zu stellen. Das Modellierungstool wird entscheidend dazu beitragen, eine Vielzahl verschiedener angefragter ziviler Szenarien zu berücksichtigen. Das Tool wird es ermöglichen, die Durchführbarkeit eines Projektes auf Grund des resultierenden Return On Investment (ROI) zu messen. Boeing kann das Tool wiederum nutzen, um seinen Kunden profitablere Optionen anzubieten und den Gewinn bei den angebotenen UAV's so gut es geht zu erhöhen.¹²⁹

Traditionelle Hard- und Software zur Darstellung von Kosten bieten noch nicht die Möglichkeit, Gesamtkosten des Besitzes von UAS zu überschlagen, da die Systeme, die für die Erstellung und Kalibrierung dieser Modelle verwendet wurden, selbst keine UAV's waren. Es gibt einige Modelle, die versprechen die Kosten rund um den Betrieb von UAV's zu analysieren. Erstens erfordert die Verwendung von Expertenmeinungen die Befragung der Experten zu einem spezifischen Thema und resultiert in der Verwendung dieser subjektiven Meinung als Input. Zweitens beginnt das Gewinn-Aktivitäts-basierte Modell im Rahmen der Kalkulation mit den Kostenkomponenten der niedrigsten Stufe und rollt es bis zur höchsten Stufe auf. Somit spaltet es die Flugzeugkosten in ihre Komponenten auf.¹³⁰

Das Modellierungstool hat zwei primäre Funktionen: Simulation/Trenderfassung und Sensibilitätsanalyse. Derzeit ist die Funktion Simulation/Trenderfassung weiter entwickelt und beinhaltet mehr Inputparameter als die Sensibilitätsanalyse. Des Weiteren erzeugt die Funktion Simulation/Trenderfassung eine Vorausberechnung des ROI basierend auf einer Kombination von Erwartungswerten und jährlichen Trendfaktoren. Für jedes Jahr eines UAV-Projektes wird der Wert jedes Parameters stochastisch auf einer Reihe von Schritten basierend berechnet. Diese Schritte beschreiben dann, wie der Wert eines Parameters im Lauf des gesamten Projektlebens berechnet wird.¹³¹

¹²⁹ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 32.

¹³⁰ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 33.

¹³¹ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 35.

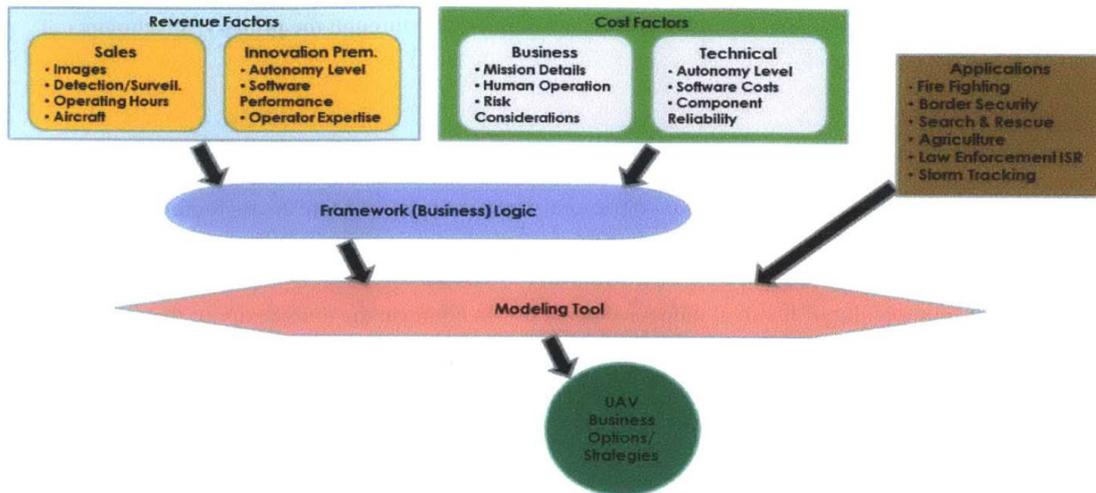


Abbildung 31: Design des Bezugssystems des Tools¹³²

Das System des Modellierungstools verarbeitet zwei Arten von Parametern: finanzielle und technische. Die finanziellen Faktoren befassen sich mit den physikalischen Charakteristika und missionsspezifischen Details einer UAV-Anwendung. Die technischen Parameter konzentrieren sich mehr auf die technologischen Aspekte der Anwendung mit Schwerpunkt auf der Autonomie. Diese Faktoren wurden während vieler Gespräche mit Supervisors, Ingenieuren und Betriebswirten festgelegt. Weil Grundlagenforschung bei den individuellen Kosten der UAV-Herstellung nicht so sehr ins Detail geht, verstehen sich viele dieser Faktoren auf Grund der internen Diskussionen als ausschlaggebend.¹³³

Die technischen Faktoren des Modellierungstools drehen sich um die 12 primären autonomen Komponenten eines UAV's: Start- bzw. Landesequenz, Bergung, Notfallmanagement, Redundanz, Zustandsüberwachung, Verfolgung, Vorpositionierung, Kollisionsvermeidung, Fähigkeit zur Entscheidungsfindung, Kontrollraum-Automatisierung und fehlertolerante Steuerung. Diese 12 wurden als die wichtigsten Komponenten beim autonomen Betrieb von UAV's angesehen und durch einige Stakeholder des Projektes beschlossen: Betriebswirte, Techniker, Supervisors, Wartung, Betriebspersonal und Autonomie (siehe Abbildung). Risiken

¹³² Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 9 S. 36.

¹³³ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 44.

für diese Komponenten und die Komplexität/Autonomie der Software werden in der Endevaluierung auch berücksichtigt. Es gibt auch einige technische Faktoren, die nicht direkt mit UAV-Komponenten in Zusammenhang stehen, aber mit dem gesamten UAV im Allgemeinen.¹³⁴

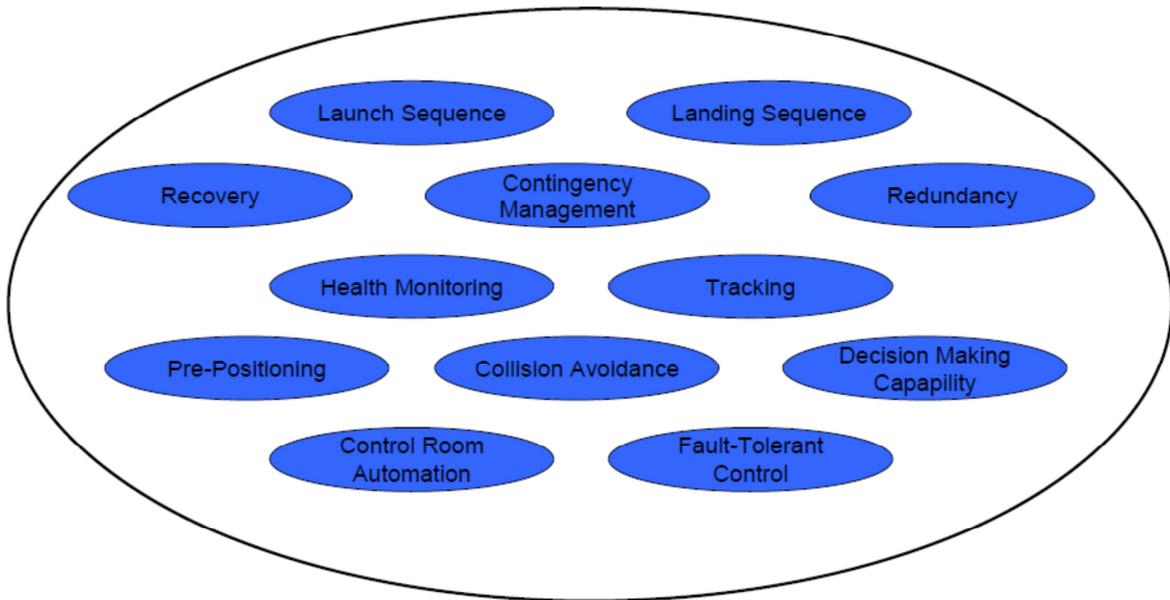


Abbildung 32: Primäre UAV-Komponenten¹³⁵

Die Business-Faktoren bestehen aus physikalischen Charakteristika eines UAV-Flugzeuges und seiner Anwendung. Diese Faktoren beeinflussen entweder Einnahmen oder Kosten, aber nicht beide gleichzeitig. In dem Tool gibt es vier Einnahmequellen:

- Verkauf von Luftbildern
- Beobachtungs- und Erkennungsdienste
- Betriebs- und Wartungsdienstleistung
- Verkauf von UAV's

Nicht-technische Faktoren und solche wie Operator und nicht-Operator – Gehälter, missionsspezifische Kosten und zusätzliche Flugzeugkosten werden auch von dem Tool berücksichtigt.¹³⁶

¹³⁴ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 44f.

¹³⁵ Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 17 S. 45.

Das Grundgerüst des Modellierungstools bricht alle technischen und Geschäftsfaktoren auf Erlös und Kostenfaktoren herunter. Ebenfalls gibt es zwei Arten von Kostenfaktoren (mit ähnlichen Namen wie die Typen der Faktoren im System): Technische und finanzielle. Nicht alle technischen Systemfaktoren sind technische Kostenfaktoren und umgekehrt für die finanziellen Parameter. Die Innovationszuschlags- und Verkaufsfaktoren sind ebenfalls eine Mischung aus technischen und finanziellen Systemfaktoren.¹³⁷

In Bezug auf die Einnahmen-Faktoren umfassen die Innovations-Schlüsselfaktoren drei unterschiedliche Parameter: Autonomielevel, Softwareleistung und die Expertise des Betriebspersonals. Diese Innovations-Schlüsselfaktoren sind der technologische Hebel, den Boeing besitzt, um qualitativ hochwertigere Angebote für ihre UAV-Markt-Kunden zu legen. Sie repräsentieren die Vorteile, die von Boeing produzierte Software gegenüber jener, anderer Hersteller haben könnte. Da diese Faktoren als Anreiz für die Verwendung von Boeing-UAV's angesehen werden, sollten sie auch die Verkaufszahlen erhöhen.¹³⁸

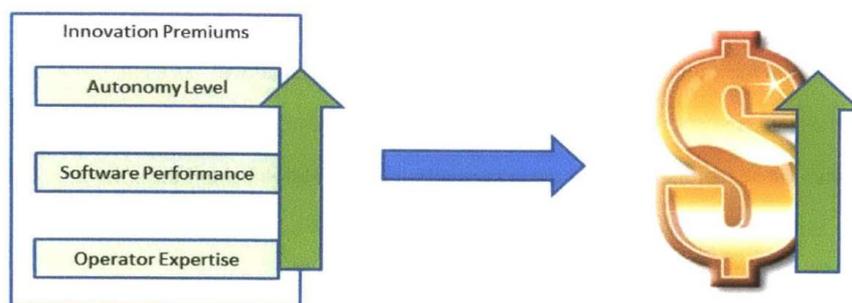


Abbildung 33: Die Beziehung der Innovations-Schlüsselfaktoren zum Gesamtumsatz¹³⁹

Die übrige Komponente der Ertragsfaktoren ist der Vertrieb. Der Vertrieb besteht aus vier unterschiedlichen Parametern:

- Verkauf von Luftaufnahmen,
- Aufspürungs-/Überwachungsdienste,

¹³⁶ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 45.

¹³⁷ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 46.

¹³⁸ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 46.

¹³⁹ Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 18 S. 47.

- Betriebsdienstleistungen für UAV's und
- Verkauf von UAV's.

Jeder dieser Faktoren kann dem Kunden mit anderen in Kombination angeboten werden. Wahrscheinlich wird sich eine Kundenanfrage auf eines der oben erwähnten Geschäftsfelder konzentrieren. Jeder Verkaufsfaktor beinhaltet den Preis für ein greifbares Produkt/Dienstleistung aus dem Angebot (z.B. Bilder aus dem Geschäftsmodell „Verkauf von Luftaufnahmen“), die Häufigkeit der Nachfrage des Angebots, und auf jährlicher Basis, die Anzahl der potentiell benötigten Angebote. Die Verkaufsfaktoren bilden die Basiswerte für die Ertragsberechnung.¹⁴⁰

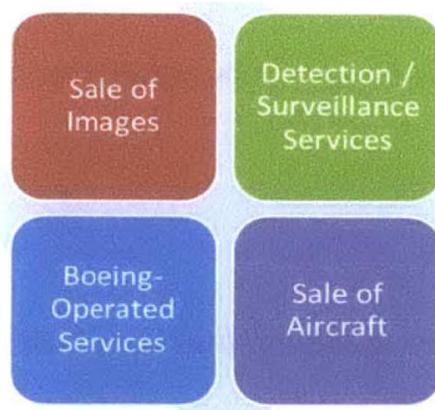


Abbildung 34: Die vier Geschäftsmodelle für UAV-Angebote.¹⁴¹

In Bezug auf die Kostenfaktoren beinhalten die technischen Faktoren die kompletten 12 Komponenten. Auf die primären Komponenten dieser Faktoren wurde oben schon eingegangen. Als solche haben diese Komponentenfaktoren die exakt selbe Kostenstruktur und gelten als Haupteinflussgrößen für die Basiskosten der UAV-Produktion. Diese Faktoren repräsentieren die Komplexität und Innovation hinter der Software von Boeings UAV's. Dies bedeutet, es rentiert sich, in den Fortschritt dieser Technologie zu investieren.¹⁴²

¹⁴⁰ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 47.

¹⁴¹ Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 19 S. 47.

¹⁴² Vgl. Liu E. W. (2012) S. 48.

Die andere Komponente der Kostenfaktoren sind die Businessfaktoren. Auf jene, nicht technikbezogene Businessfaktoren wurde ebenfalls bereits oben eingegangen. Andere Businesskostenfaktoren beinhalten die Durchführung von Missionen, Kraftstoff und Kosten durch Luftraumbeschränkungen. Diese Faktoren repräsentieren die Basiswerte für die Kostenkalkulation. Detailliertere Informationen über die Einnahmen-/Kosten- Konfigurationen können den technischen Spezifikationen entnommen werden.¹⁴³

Die gesamte Bezugssystem-Logik des Modellierungstools ist in den technischen Spezifikationen näher beschrieben und wird hier einfach dargestellt. Diese Logik stellt alle Verbindungen zwischen den Komponenten aller Erträge und aller Kostenfaktoren her. Es gibt einige Faktoren, die ähnliche Parameter aufweisen, verbunden sind und simultan verändert werden, wie z.B. Anzahl der Missionen für Operators, Non-Operators, Kraftstoffkosten, Geschäftsmodell-spezifische Verkaufsfaktoren, etc.. Es gibt ebenfalls Faktoren, die als Aggregate für das UAV als Ganzes wirken, deren Summen größer oder gleich der addierten Einzelsummen pro Stück (wie z.B. Software Bugs, Servicetechniker und Codezeilen) sind. Die technischen Spezifikationen geben über die System-Logik und die Beziehungen der einzelnen Faktoren zueinander genauer Aufschluss (viele dieser Details können gegenwärtig auf Grund von Urheberrechten noch nicht veröffentlicht werden).

¹⁴³ Quelle: <http://www.golem.de/news/drohne-nasa-fliegt-in-aktiven-vulkan-1304-98466.html>
(aufgerufen am 03.04.2013)

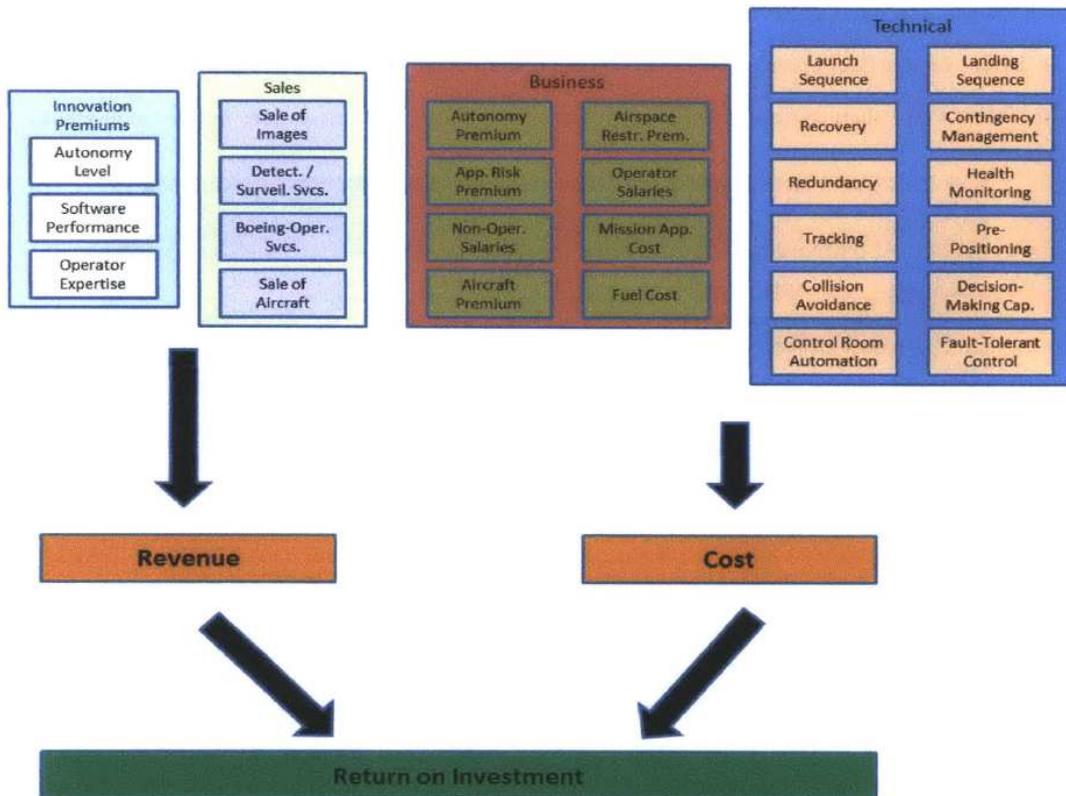


Abbildung 35: Integration der Faktoren in das Bezugssystem des Tools¹⁴⁴

Das Interface des Modellierungstools verpackt die gesamte Funktionalität des Tools in eine einzige visuelle Präsentation.¹⁴⁵

¹⁴⁴ Quelle: Liu E. W. (2012) Figure 20 S. 49.

¹⁴⁵ Vgl. Liu E. W. (2012) S. 48 f.

I Abkürzungsverzeichnis

AHRS	Attitude and Heading Reference System
ALADIN	Abbildende Luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächsbereich
AMES	Academy for Math, Engineering, and Science
ASTER	Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Services
BAE	British Aerospace
BAMS	Broad Area Maritime Surveillance
CBP	Customs and Border Protection
CEO	Chief Executive Officer
CIA	Central Intelligence Agency
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DOA	Design Organization Approval
DOC	Direct Operating Costs
DRER	Desaster Relief and Emergency Responce
EADS	The European Aeronautic Defence and Space Company
EASA	European Aviation Safety Agency
FAA	Federal Aviation Administration

FHD	Fachhochschule Düsseldorf
FLIR	Forward Looking Infrared Kamera
FTL	Fault Tolerant Control
GPS	Global Positioning System
HALE	High Altitude Long Endurance
HF	Human Factors
IAI	Israel Aircraft Industries
IAOPA	International Aircraft Owners and Pilots Association
ICAO	International Civil Aviation Organization
IMU	Inertial Measurement Unit
IOC	Indirect Operating Costs
LLC	Limited Liability Corporation
MALE	Medium Altitude Long Endurance
MAV	Micro Unmanned Aerial Vehicle
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MOA	Manufacturing Organization Approval
MSL	Mean Sea Level
MTOW	Maximum Take Off Weight
MUAV	Mini Unmanned Aerial Vehicle
MAV	Micro Unmanned Aerial Vehicle
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATO	North Atlantic Treaty Organization

POA	Production Organization Approval
QOS	Quality Of Service
ROI	Return On Investment
RPA	Remotely Piloted Vehicle
RTCA	Radio Technical Commission of Aeronautics
SWAT	Special Weapons And Tactics
TU	Tupolev
TUAV	Tactical Unmanned Aerial Vehicle
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
UCR	University of Costa Rica
US	United States
USA	United States of America
USAF	United States Airforce
USBP	United States Border Patrol
UWRL	Utah Water Research Laboratory
VBA	Visual Basic for Applications
VTOL	Vertical Take Off and Landing

II Literaturverzeichnis

- Abeyratne, Ruwantissa 2012. *Strategic issues in air transport: Legal, economic and technical aspects*. Heidelberg: Springer.
- Angelov, Plamen P. c2012. *Sense and avoid in UAS: Research and applications*. Hoboken, N.J: Wiley. (Aerospace series). Online im Internet: URL: <http://www.lob.de/cgi-bin/work/suche2?titnr=264669125&flag=citavi>.
- Barnhart, Richard K., u.a. 2012. *Introduction to unmanned aircraft systems*. Boca Raton: Taylor & Francis. Online im Internet: URL: <http://site.ebrary.com/lib/alltitles/docDetail.action?docID=10508871>.
- Belfiore, Michael 2012. *Drones for Science: The First Step in a Civilian UAV Invasion? - Popular Mechanics*. URL: <http://www.popularmechanics.com/technology/aviation/news/drones-for-science-the-first-step-in-a-civilian-uav-invasion-8210546> [Stand 2013-04-05].
- Dalamagkidis, K., Valavanis, K. & Piegl, Les A. 2012. *On integrating unmanned aircraft systems into the national airspace system: Issues, challenges, operational restrictions, certification, and recommendations / Intelligent Systems, Control and Automation, Science and Engineering*; 2nd ed. Dordrecht, London: Springer. (Intelligent systems, control and automation: science and engineering, Bd. v. 54Bd).
- Dempsey, Martin E., GEN, Commanding General TRADOC 2010. *U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010 - 2035: Eyes of the army*. URL: <http://www-rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap%202010%202035.pdf> [Stand 2013-04-04].
- Europäische Union 2008. *Verordnung (EG) Nr. 216/2008 DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES: zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluffahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit, zur Aufhebung der Richtlinie 91/670/EWG des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 und der Richtlinie 2004/36/EG. (Text von Bedeutung für den EWR)*. URL: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:079:0001:0049:DE:PDF> [Stand 2012-04-25].

- Haddad Chad C. & Gertler Jeremiah 2010. *Homeland Security: Unmanned Aerial Vehicles and Border Surveillance*. USA. URL: <http://www.fas.org/sqp/crs/homsec/RS21698.pdf> [Stand 2013-04-01].
- ICAO 2011. *Unmanned Aircraft Systems (UAS) // Unmanned aircraft systems: (UAS), AN/190*. Montréal: International Civil Aviation Organization. (Bd. CIR328Bd). Online im Internet: URL: http://www.icao.int/Meetings/UAS/Documents/Circular%20328_en.pdf [Stand 2013-04-14].
- Liu Edward W. 2012. Business Case Assessment of unmanned Systems level of Autonomy. Masterarbeit. Massachusetts Institut of Technology. URL: <http://dspace.mit.edu/bitstream/handle/1721.1/73405/810144613.pdf?sequence=1> [Stand 2013-04-01].
- Marlaire, Ruth, D. 2013. *NASA Flies Unmanned Aircraft Into Volcanic Plume*. Washington. URL: <http://www.nasa.gov/topics/earth/earthmonth/volcanic-plume-UAV's.html> [Stand 2013-04-17].
- Mortimer, Gary 2011. *Montgomery County Sheriffs receive Shadowhawk rotary sUAS*. URL: <http://www.suasnews.com/2011/10/9531/montgomery-county-sheriffs-receive-shadowhawk-rotary-suas/> [Stand 2013-04-02].
- o. Verfasser 2012. *Vanguard Defense and ISR Group to Promote Shadowhawk UAS Operations*. URL: <http://www.suasnews.com/2012/09/18829/vanguard-defense-and-isr-group-to-promote-shadowhawk-uas-operations/> [Stand 2013-04-02].
- o. Verfasser 2013. *Return On Investment - ROI: Definition of `Return On Investment - ROI`*. URL: <http://www.investopedia.com/terms/r/returnoninvestment.asp> [Stand 2013-04-12].
- Schieh, H. P. 2010. Ausgewählte luftfahrtrechtliche Problemstellungen bei der Implementierung von unbemannten Luftfahrzeugsystemen im Österreichischen Bundesheer. Diplomarbeit. Johannes Kepler Universität.
- Tsach S., Penn D., Levy A. 2002. *Advanced Technologies and Approaches for next Generation UAV's*. URL: <http://www.icas-proceedings.net/ICAS2002/PAPERS/131.PDF> [Stand 2013-05-01].
- Valavanis, Kimon P. 2007. *Advances in Unmanned Aerial Vehicles: State of the Art and the Road to Autonomy*. Dordrecht: Springer. (33). Online im Internet: URL: <http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-6114-1>.

III Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Wien, den 24.05.2013

Christian Seiwald