

Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung von unbemannten Systemen

**Jürgen Altmann, Christian Alwardt, Michael Brzoska,
Thilo Marauhn, Götz Neuneck, Philipp Stroh**

**Experimentelle Physik III,
Universität Dortmund**

**Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik
an der Universität Hamburg**

**Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Völkerrecht und Europarecht,
Universität Gießen**

September 2008

Vorwort zur Veröffentlichung 2013

Dieses Gutachten wurde zwischen November 2007 und April/Mai 2008 durch eine Projektgruppe für den Deutschen Bundestag erarbeitet (s. Vorwort) und im September 2008 dem Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) in endgültiger Form übergeben. Es war eines von drei Gutachten, die für das TAB-Projekt „Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme“ in Auftrag gegeben worden waren. Es ist eingeflossen in den Endbericht zum Projekt, der im Mai 2011 veröffentlicht wurde.* Wir danken dem Deutschen Bundestag für die Genehmigung zur Veröffentlichung.

Dortmund/Hamburg/Gießen, September 2013

Jürgen Altmann, Christian Alwardt, Michael Brzoska,
Thilo Marauhn, Götz Neuneck, Philipp Stroh

* T. Petermann, R. Grünwald, Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme, Arbeitsbericht Nr. 144, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag, Mai 2011; zugänglich über <http://www.tab-beim-bundestag.de/de/publikationen/berichte/ab144.html>.

Inhalt

Vorwort	7
Zusammenfassung	9
1 Unbemannte Fahrzeuge – Geschichte, Begriffe, Trends	23
1.1 Unbemannte Fahrzeuge – ein aktueller militärischer Trend	23
1.2 Anmerkungen zur Geschichte von (militärischen) unbemannten Systemen	25
1.3 Nomenklatur und Definition	28
1.4 Wichtige Unterscheidungsmerkmale	32
1.5 Bestandsaufnahme	33
1.5.1 Bedingungen in den verschiedenen Medien	33
1.5.2 Kategorien von UMS	37
1.5.3 Verbreitung, Einsatz, Entwicklung	40
Literatur zu Kapitel 1	45
2 Stand und Perspektiven von Forschung und Entwicklung bei den kritischen Technologiefeldern unbemannter Systeme (Modul 2)	49
2.1 Angestrebte Fähigkeiten und FuE-Aktivitäten	49
2.1.1 Angestrebte Fähigkeiten von militärischen UMS	49
2.1.2 FuE-Aktivitäten in den USA	51
2.1.3 Ausgaben für UMS	55
2.1.4 FuE-Aktivitäten in Deutschland	56
2.1.5 FuE-Aktivitäten im internationalen Bereich, in anderen Ländern	59
2.2 Technologiefelder für Forschung und Entwicklung von UMS	63
2.2.1 Übergreifende Technologieziele	63
2.2.2 Zentrale Technologiefelder	65
2.2.3 Größte Herausforderung: Landfahrzeuge	83
2.2.4 Beziehungen zwischen militärischen Anforderungen und Technologien	87
2.2.5 Erwartete Einführungszeiten	88
2.3 Ländervergleich	90
2.4 Einzelaspekte	91
2.4.1 Erfahrungen bei Future Combat Systems der USA	91
2.4.2 UAV: Bemühungen um Integration in den Luftverkehr	93
2.4.3 Unfälle mit UAV	96

2.4.4	Zugänglichkeit von Technologien für substaatliche Akteure, terroristische Nutzung von UMS	97
2.4.5	Proliferation	98
2.5	Zusammenfassende Bewertung	99
	Literatur zu Kapitel 2	103
	Anhang 2.1	111
	Anhang 2.2	113
3	Ökonomische Aspekte der militärischen und zivilen Forschung und Entwicklung sowie Nutzung unbemannter Systeme (Modul 3)	115
3.1	Märkte für UMS: Gegenwärtige Größe und Struktur	115
3.1.1	Umsätze	115
3.1.2	Struktur der Märkte	117
3.1.3	Erwartete Zukunftsentwicklung	120
3.2	Ziviler Einsatz und zivile Anwendungen	122
3.2.1	Satelliten	122
3.2.2	UAV	123
3.2.3	USV/UUV	124
3.2.4	UGV	125
3.2.5	Zusammenfassung	127
3.3	Erwartbare Einsparpotenziale, mögliche zusätzliche Kosten	127
3.3.1	Kostenelemente im Vergleich für ähnliche Einsatzformen	128
3.3.2	Kostenvergleiche für spezifische Einsatzformen	129
3.3.3	Kostenvergleiche	130
3.3.4	Zusammenfassung	133
3.4	Volkswirtschaftliche und innovationspolitische Bedeutung von UMS	134
3.4.1	Globale wirtschaftliche Bedeutung	134
3.4.2	Deutschland	134
3.4.3	Innovationspolitische Bedeutung	134
3.4.4	Verwandte Technologiefelder	135
3.4.5	Zusammenfassende innovationspolitische Einschätzung	137
3.5	Deutsche Forschungseinrichtungen	138
3.5.1	Hochschulen	138
3.5.2	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz	141
3.5.3	Fraunhofer-Institute	142

3.5.4	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt	143
3.5.5	Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften	145
3.5.6	European Land-Robot Trial	146
3.5.7	Zusammenfassung	147
3.6	Relevanz von UMS für die wehrtechnischen Kernfähigkeiten sowie die FuE-Basis in Deutschland	147
3.6.1	Anforderungen	148
3.6.2	Systemfähigkeiten der Industrie	148
3.6.3	Die wichtigsten Hersteller	149
3.6.4	Zusammenfassung	151
	Literatur zu Kapitel 3	153
	Anhang 3-1	156
	Anhang 3-2	159
4	UMS im Kontext von Friedenssicherungsrecht, Rüstungs- und Exportkontrolle sowie humanitärem Völkerrecht (Modul 4)	163
4.1	Auf UMS anwendbare Normen des Friedenssicherungsrechts und sonstige multilaterale Vereinbarungen	164
4.1.1	Rüstungskontrolle nach Ende des Kalten Krieges	164
4.1.2	Die Krise der Rüstungskontrolle ab 2001	166
4.1.3	Rüstungskontrollverträge, die auf UMS angewendet werden können	168
4.1.4	Multilaterale Vereinbarungen zur Exportkontrolle	177
4.2	Beurteilung der völkerrechtlichen Zulässigkeit des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt	183
4.2.1	Prüfungspflicht der Bundesrepublik Deutschland (Artikel 36 ZP I)	184
4.2.2	Nationalitätszeichen	185
4.2.3	Einsatz von unbemannten Systemen für Aufklärungszwecke	186
4.2.4	Bewaffnung unbemannter Systeme	188
4.2.5	Die besondere Bedeutung des Unterscheidungsgebotes für unbemannte Systeme	189
4.2.6	Der Status von Bedienungspersonal und Basisstation unbemannter Systeme	193
4.2.7	Durchsetzung der einschlägigen Rechtsnormen des humanitären Völkerrechts	196
4.2.8	Reformbedarf und aktuelle Vorschläge für neue Luftkriegsregeln	198

4.3	Sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Folgen einer breiten Einführung von UMS unter Berücksichtigung präventiver Rüstungskontrolle	200
4.3.1	Kriterien der präventiven Rüstungskontrolle und UMS	200
4.3.2	Bewertung der verschiedenen UMS-Anwendungen unter Stabilitäts- gesichtspunkten	202
4.3.3	Anwendungen von UMS durch substaatliche Akteure	211
4.4	Zusammenfassende Bewertung	218
4.4.1	I. Rüstungs- und Rüstungsexportkontrolle	218
4.4.2	II. Humanitäres Völkerrecht	219
4.4.3	III. Militärische Stabilität und Kriegsverhütung	220
4.4.4	IV. Gefahrenvermeidung für nachhaltige gesellschaftliche Entwicklungen	221
	Literatur zu Kapitel 4	223
5	Unbemannte Systeme aus verkehrsrechtlicher Perspektive (Modul 5)	235
5.1	Vorbemerkung	235
5.2	Die rechtliche Regelung unbemannter Luftfahrzeugsysteme	236
5.2.1	Die rechtliche Regelung des Fluggeräts	236
5.2.2	Die rechtliche Regelung des Bedienungspersonals, insbesondere des Steuerers	241
5.2.3	Die rechtliche Regelung der Teilnahme am Luftverkehr	242
5.2.4	Völkerrechtliche Rahmenbedingungen	244
5.3	Die rechtliche Regelung unbemannter Bodenfahrzeugsysteme	245
5.4	Die rechtliche Regelung unbemannter Wasserfahrzeugsysteme	251
5.5	Zusammenfassende Überlegungen zum Regelungsbedarf	253
5.5.1	in Bezug auf unbemannte Luftfahrzeugsysteme	253
5.5.2	in Bezug auf unbemannte Bodenfahrzeugsysteme	254
5.5.3	in Bezug auf unbemannte Wasserfahrzeugsysteme	255
5.5.4	in Bezug auf die Unterscheidung von privater und hoheitlicher Nutzung	256
	Literatur zu Kapitel 5	257
	Abkürzungen	259

Vorwort

Dieses Gutachten wurde im Auftrag des Deutschen Bundestages für das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) zwischen November 2007 und April/Mai 2008 durch eine Projektgruppe erarbeitet. Diese bestand aus drei universitären Forschungseinrichtungen: Lehrstuhl Experimentelle Physik III der Universität Dortmund, Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik an der Universität Hamburg und Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Völkerrecht und Europarecht der Universität Gießen.

Der Auftrag erging im Rahmen des TA-Projekts „Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung von unbemannten Plattformen“, mit dem der Ausschuss für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung des Deutschen Bundestages das TAB beauftragt hat. Gemäß der Informationen zur Gutachtenvergabe des TAB soll das Thema in fünf Modulen bearbeitet werden:

1. Sicherheitspolitische und militärische Konzepte und ihre Relevanz für unbemannte Systeme,
2. Stand und Perspektiven von Forschung und Entwicklung bei den kritischen Technologiefeldern unbemannter Systeme,
3. Ökonomische Aspekte der militärischen und zivilen Entwicklung und Nutzung unbemannter Systeme,
4. Völkerrechtliche und rüstungskontrollpolitische Einordnung einschließlich der Frage der Exportkontrolle,
5. Rechtliche Aspekte unbemannter Systeme – unter besonderer Berücksichtigung luftgestützter Systeme.

Von diesen hat unsere Projektgruppe die Module 2 bis 5 bearbeitet, die Ergebnisse finden sich in den Kapiteln 2 bis 5 dieses Gutachtens. Der Text wurde dem TAB im Entwurf vorgelegt und auf Grund seiner Anmerkungen überarbeitet.

Die Hauptautoren und jeweiligen Unterstützer sind: Kapitel 1: Jürgen Altmann mit Götz Neuneck, Kapitel 2: Jürgen Altmann mit Götz Neuneck, Kapitel 3: Michael Brzoska mit Gerit Kurtz, Denise Völker und Jürgen Altmann, Kapitel 4: Christian Alwardt, Thilo Marauhn, Götz Neuneck und Philipp Stroh mit Jürgen Altmann, Kapitel 5: Thilo Marauhn und Philipp Stroh mit Alireza Siadat.

Wir danken Bernhard Frhr. von Bothmer (deutschsprachige Arbeitsgruppe UAV DACH) für die Einladungen zu Sitzungen der UAV DACH, verschiedenen Mitgliedern der UAV DACH für Gespräche, der niederländischen Firma ADSE dafür, dass sie uns den Vortrag über ihre Kostenstudie zur Verfügung gestellt hat. Verschiedene Personen und Institutionen haben

Informationen geliefert; dafür danken wir Thomas Mildenerger (Vereinigung Cockpit), Frank Kubicki (Polizei Nordrhein-Westfalen), Andreas Udovic (Deutsche Flugsicherung) und dem Bundesministerium der Verteidigung (Rü IV).

Dortmund/Hamburg/Gießen, September 2008

Jürgen Altmann, Christian Alwardt, Michael Brzoska,
Thilo Maruhn, Götz Neuneck, Philipp Stroh

Zusammenfassung

Unbemannte Systeme (UMS) sind bei Streitkräften hauptsächlich als Aufklärungsflugzeuge seit etwa drei Jahrzehnten im Einsatz. In jüngerer Zeit gibt es verstärkte Bemühungen, unbemannte Luftfahrzeuge zu bewaffnen und auch unbemannte Land- und Wasserfahrzeuge zu entwickeln. Militärische UMS sollen langwierige oder gefährliche Aufgaben erfüllen bei Schonung des eigenen Personals.

Etwa 50 Länder produzieren heute unbemannte Luftfahrzeuge, 20 exportieren sie. Es gibt Kleinflugzeuge mit einigen Kilometer Reichweite, mittlere Größen (bis einige 100 km) und wenige große, die 24 Stunden und länger in der Luft bleiben können und 10.000 km (und zurück) fliegen können. Nur wenige unbemannte Flugzeuge werden bisher für zivile Zwecke genutzt.

Forschung und Entwicklung

Der Vorreiter bei UMS-Forschung und –Entwicklung sind die USA. Nach den Erfahrungen mit intensiver Nutzung unbemannter Luftfahrzeuge in Afghanistan und Irak bemüht sich das Department of Defense nun intensiv um systematische, vereinheitlichte Aktivitäten auch für unbemannte Land-, Überwasser- und Unterwasserfahrzeuge, insbesondere auch Teilstreitkräfte übergreifend. Dabei mischen sich realistische Perspektiven mit wenig ausgegorenen Ideen. Neben militärischen Anforderungen und technischen Möglichkeiten wirken auch andere Einflussfaktoren – die Konkurrenz der Teilstreitkräfte, der Lobbyismus von Rüstungsfirmen oder die Hoffnung auf technologische „Abfall“produkte mit großem ökonomischem Potenzial.

Das US-Militär setzt sich für UMS hohe Ziele. Es ist ungewiss, ob sie in den angegebenen Zeiten erreicht werden können. Besonders bei Landfahrzeugen zeigen sich erhebliche technische oder grundsätzliche Hindernisse. Auch ist möglich, dass einige Ziele zwar prinzipiell erreichbar sein werden, sich aber manche UMS für den Routineeinsatz als zu wenig wirksam oder zu teuer erweisen werden.

Was die USA entwickeln, erproben und einführen, bildet für andere Länder Motivationen, Ähnliches zu entwickeln oder zumindest zu beschaffen. Wie in anderen Fällen auch (Beispiel Strategic Defense Initiative) fürchten Rüstungsfirmen in anderen Ländern um zukünftige Märkte und drängen ihre Regierungen, dem Vorbild der USA zu folgen.

Dem Schwierigkeitsgrad der Technologien entsprechend ist bei Streitkräften verschiedener Länder derselbe Trend zu beobachten bzw. zu erwarten: Zunächst werden unbemannte Luft-

fahrzeuge entwickelt und eingeführt, dann ggf. solche auf oder unter Wasser und schließlich Landfahrzeuge. Andere Länder wie Israel oder europäische Staaten sind bei UMS-Forschung und -Entwicklung nicht weiter als die USA. Die Erfahrungen bei Luftfahrzeugen zeigen aber, dass viele Länder mit gewisser Verzögerung zur Entwicklung ähnlicher eigener Systeme in der Lage sind. Solche Proliferation wird durch die zunehmende Miniaturisierung von Elektronik und Rechnern sowie die zunehmende Dual-Use-Fähigkeit von anderen Komponenten noch erleichtert werden.

Weltweit gibt es Bemühungen, unbemannte Flugzeuge im normalen Luftverkehr zuzulassen. Die Hauptschwierigkeit liegt beim Erkennen von und Ausweichen vor anderen Luftfahrzeugen. Alle Beteiligten (Unternehmen, Behörden, Flugsicherung usw.) stehen dem Anliegen positiv gegenüber und versuchen, zu zügigen Lösungen beizutragen. Auch wenn als Begründung dafür oft zivile Nutzungen genannt werden, sind gegenwärtig die Hauptbefürworter und Hauptnutznießer die Streitkräfte, und das wird wahrscheinlich noch auf mindestens ein bis zwei Jahrzehnte so bleiben.

Die Hauptaufgaben unbemannter Luftfahrzeuge – mit Ausnahme von Marschflugkörpern – werden auch in Zukunft Aufklärung und Überwachung sein. Bei Landfahrzeugen zeichnet sich noch nicht ab, ob die gegenwärtig wichtigsten Einsatzfelder – Minenräumen, Bombenentschärfung – durch neue Felder, etwa Transport in gefährlichem Terrain, abgelöst werden. Bei Über- und Unterwasserfahrzeugen ist die Entwicklung noch schwieriger vorherzusagen. Neben der Minenräumung und der Aufklärung wird auch das Bekämpfen von Zielen in Zukunft eine der Hauptaufgaben bleiben bzw. werden. Die Fahrzeuge werden relativ klein sein und Hilfsfunktionen ausüben; große Überwasserschiffe und U-Boote werden weiterhin die Hauptsysteme der Marinen bilden und weiterhin eine menschliche Besatzung haben.

Bei militärischen UMS in allen Medien ist Bewaffnung ausdrücklich vorgesehen, perspektivisch auch autonomes Zielen und Auslösen von Waffen. Die damit verbundenen völkerrechtlichen, politischen u.a. Schwierigkeiten sollen durch zunächst langsames Vorgehen überwunden werden. Eventuell wird es sich als nötig erweisen, auf längere Zeit die Entscheidung bei einem Menschen zu belassen. Jedoch sind perspektivisch viele Situationen vorstellbar, in denen ein Mensch in der Entscheidungsschleife zu große Verzögerung bringen würde. Maschinelle Unterscheidung von Kombattanten und Nicht-Kombattanten in anderen als sehr einfachen Situationen ist jedoch auf mindestens 20 Jahre nicht zu erwarten.

Der Trend geht zu Luftfahrzeugen, die modular oder als Plattformen angelegt sind. Sie können mit verschiedenen Teil- bzw. Nutzlasten bestückt werden. Hier Sensorik durch Waffen zu ersetzen, wird keine größeren technischen Problem stellen. Eventuelle höhere Anforderungen

an die Zuverlässigkeit der Steuerverbindung können ebenfalls erfüllt werden. Von vornherein für den Kampf ausgelegte Luft-Plattformen mit Nutzlasten, Reichweiten und Geschwindigkeiten ähnlich wie bei herkömmlichen Kampfflugzeugen sind in einer Reihe von Ländern (u.a. USA, europäische Länder, Russland) als Technologiedemonstratoren in Entwicklung und könnten in 10-20 Jahren breit eingeführt werden. Sie werden zunächst zum Angriff gegen Bodenziele geplant, Luftkampf würde erst in zwei Jahrzehnten möglich.

Bei der Vielzahl an Hersteller- und Exportländern ist davon auszugehen, dass unbemannte Luftfahrzeuge noch erheblich weiter verbreitet werden. Ohne internationale Rüstungs- und Exportkontrollmaßnahmen wird das mit vielleicht 10 Jahren Verzögerung auch bei bewaffneten Luftfahrzeugen zutreffen, später – wenn sie sich als genügend leistungsfähig und kostengünstig erweisen – auch bei bewaffneten Landfahrzeugen sowie in geringerem Maß auch bei Über- und Unterwasserfahrzeugen.

Während die größeren Systeme regulären Streitkräften vorbehalten bleiben werden, ist zu erwarten, dass kleinere (z.B. 0,2 bis 2 m große) unbemannte Fahrzeuge (mit Kosten zwischen 1.000 und 100.000 €) auch für nicht-staatliche Akteure zugänglich sein werden. Das wird zunächst wohl Luftfahrzeuge betreffen, dann aber auch Land- und Unterwasserfahrzeuge, eventuell auch Überwasserfahrzeuge. Solche Akteure können die Systeme einerseits durch Export aus Herstellerländern erhalten, andererseits aber auch aus Komponenten zusammensetzen, die im Zuge des allgemeinen technischen Fortschritts und einer breiteren Verwendung kleiner UMS kleiner, leichter und billiger werden.

Die US-Streitkräfte haben militärische Gegenmaßnahmen gegen ihre UMS z.T. im Blick: Stören oder Übernehmen der Kontrolle wird als Möglichkeit gesehen und soll durch entsprechende Systemauslegung verhindert oder erschwert werden. Auch beachten sie die allgemeine Bedrohung für die eigenen UMS durch gegnerische Waffen. UMS von militärischen Gegnern werden dagegen noch nicht ins Auge gefasst, die vorgestellten Szenarien scheinen von klarer technologischer Überlegenheit bei UMS geprägt zu sein. UMS von nicht-staatlichen Akteuren sind bei den USA noch kaum im Blick, nur der terroristische Einsatz mit Massenvernichtungswaffen erfährt eine gewisse Aufmerksamkeit.

Mögliche Probleme für Frieden und internationale Stabilität durch UMS werden nicht ins Auge gefasst.

Ökonomische Aspekte, Nutzung von UMS

Der weltweite Umsatz (Forschung, Entwicklung und Produktion) für UMS im engeren Sinn im Jahre 2006 lässt sich auf ca. 4,1 Mrd. Euro schätzen, wobei Luftfahrzeuge mit 3,0 Mrd. € den Hauptteil ausmachen, Wasser- und Landfahrzeuge sind mit 0,7 bzw. 0,4 Mrd. € beteiligt.

Der militärische Anteil (3,4 Mrd. €) überwiegt mit 83% bei weitem, nur bei Unterwassersystemen gibt es eine zivile Dominanz (0,5 Mrd. € v.a. für Erschließung von Bodenschätzen im Meer gegenüber 0,2 Mrd. € für militärische Forschung und Entwicklung). Bei Satelliten (die als UMS im weiteren Sinn eingestuft werden) liegt der Umsatz bei 40 Mrd. € mit einem Militäranteil von 63%.

Der Markt für unbemannte Luftfahrzeuge wird mit über 80% von den USA dominiert, europäische Firmen tragen etwa 8% bei. In den nächsten 15-20 Jahren werden vor allem bei Luftfahrzeugen deutlich steigende Umsätze erwartet.

Während Satelliten in hohem Grad zivil genutzt werden, ist die zivile Nutzbarkeit bei UMS in engerem Sinne – trotz vieler Konzepte für hoheitliche und kommerzielle Anwendungen – beschränkt. Das liegt bei Luftfahrzeugen vor allem an Sicherheitsproblemen. Solange diese nicht befriedigend gelöst sind und die Auffassung, dass sie gelöst sind, sich nicht in der Bevölkerung weit verbreitet hat, wird die zivile Nutzung auf Nischenmärkte beschränkt bleiben. Das Sicherheitsproblem hat auch für Landfahrzeuge große Bedeutung. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass zivile Technologie (z.B. Roboter und Fahrzeugkontrollsysteme) rascher voranschreitet als militärische und sich eher ein Technologiestrom von zivilen zu militärischen Systemen ergeben wird. Letzteres gilt vermutlich auch für Unterwasserfahrzeuge, zumindest solange sie kleiner sind als gegenwärtige bemannte U-Boote.

Kostenvergleiche zwischen bemannten und unbemannten Systemen werden stark von den Faktoren Einsätze, Einsatzbedingungen und Einsatzziele beeinflusst. Unter vielen Einsatzbedingungen bieten unbemannte Systeme erhebliche Kostenvorteile, insbesondere in lebensfeindlichen und gefährlichen Situationen oder dort, wo Miniaturisierung für die Erreichung des Einsatzzieles wichtig ist. Andererseits gibt es Einsatzziele und Einsatzbedingungen, in denen komplexe Erfassung und Verarbeitung von Daten notwendig ist, deren technische Bewältigung teuer ist, die Menschen aber erfolgreich bewältigen können. Bei Einsätzen, in denen weder Überlebensschutz noch Umgang mit komplexen Situationen entscheidende Kostenfaktoren sind, haben unbemannte Systeme tendenziell Kostenvorteile. Dies zeigt sich z.B. bei ferngesteuerten Unterwasserfahrzeugen, mit Abstrichen auch bei unbemannten Luftfahrzeugen. In komplexeren Aufgabenfeldern, etwa der Grenzüberwachung, zeigt sich, dass die kostengünstigste Variante in der Kombination bemannter und unbemannter Systeme besteht. Pauschale Kostenvergleiche zwischen bemannten und unbemannten Systemen sind nicht aussagekräftig.

Die innovationspolitische Bedeutung von UMS ist sehr unterschiedlich. Im Bereich der Satelliten ist die Bedeutung sehr hoch. Bei Luftfahrzeugen lassen sich bisher kaum Aussagen

machen, da die zivilen Anwendungen bisher gering geblieben sind. Bei Unterwasserfahrzeugen ist die Bedeutung hoch, da sie überwiegend zivil genutzt werden. Bei Landfahrzeugen sind militärische Programme dominierend, jedoch gibt es erheblich höhere Ausgaben der zivilen Industrien für relevante Teilaufgaben wie Steuerungssoftware für Roboter oder Fahrerassistenzsysteme. Gegenseitige Nutzung von Innovationen zwischen militärischem und zivilem Bereich ist hier möglich, ja sogar wahrscheinlich.

Stärker als z.B. in den Vereinigten Staaten sind die Forschung und Entwicklung von zivilen und militärischen unbemannten Systemen in Deutschland überwiegend getrennt. Man kann annehmen, dass die Forschung zu unbemannten Systemen in Forschungsinstituten in Deutschland im Vergleich sowohl zu den USA als auch etwa zur industriellen Forschung zu Industrierobotik nicht sehr umfangreich ist. Insgesamt dürfte sie auch, gemessen an Finanzvolumina, deutlich geringer sein als die Forschung und Entwicklung für militärische Systeme, die überwiegend in Ingenieurbüros und Unternehmen stattfinden. In Hochschulen findet fast ausschließlich Forschung zu zivilen Systemen statt. Das Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt und Fraunhofer-Institute sind sowohl auf zivile Anwendungen im Bereich der Sicherheitsforschung und andere Dual-Use-Anwendungen als auch auf direkte militärische Anwendungen orientiert. Die Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften ist überwiegend in militärischen Projekten involviert. Aber auch hier bleibt das Volumen zumindest bisher beschränkt.

Gegenwärtig ist die Bedeutung von UMS für die wehrtechnischen Kernfähigkeiten deutlich geringer als in einer gemeinsamen Stellungnahme der Bundeswehr und der Rüstungsindustrie erklärt wird; beide Seiten erwarten offensichtlich erhebliche Zuwachsraten. Sie stimmen darin überein, dass UMS eine der wichtigsten Technologien der Zukunft für die deutsche Rüstungsindustrie sein werden. Die Bundeswehr geht davon aus, dass UMS in Zukunft weit stärker zum Einsatz kommen werden als in der Vergangenheit. Die deutsche Rüstungsindustrie erwartet, dass sowohl der Markt für militärische Luft- als auch für militärische Wasserfahrzeuge in der Zukunft lukrativer wird. Dabei setzt die Industrie auch auf Exporte von militärischen UMS, was die Bundeswehr unterstützt. Der Realismus dieser Erwartungen lässt sich in Frage stellen. Insgesamt sind die Umsätze der Firmen, insbesondere der großen Rüstungsfirmen, mit militärischen UMS gegenwärtig eher gering im Vergleich zu den Umsätzen mit bemannten Systemen. Nur wenige, kleine Firmen sind auf die Entwicklung und Herstellung von UMS spezialisiert. Im hohen Stellenwert, der UMS zugesprochen wird, spiegeln sich vielmehr Zukunftserwartungen, die nur teilweise durch die Fähigkeiten der Industrie abgedeckt sind. Dies könnte sich nur dann ändern, wenn deutlich mehr in militärische UMS-For-

schung und -Entwicklung investiert wird. Fraglich ist insbesondere, ob die deutsche Industrie im internationalen Wettbewerb bestehen kann. Anders als in den USA scheint die deutsche Luftrüstungsindustrie nicht darüber besorgt zu sein, mit der Einführung unbemannter Luftfahrzeuge Produktionsvolumen zu verlieren.

Rüstungskontrolle, Exportkontrolle

Die vorhandenen Rüstungskontrollverträge errichten bezüglich der Entwicklung und Einführung konventionell bewaffneter, unbemannter Fahrzeuge keine entscheidenden Barrieren für Weiterentwicklungen. Allerdings fordert die allgemeine Zweckbestimmung der B- und C-Waffen-Übereinkommen das Verbot von unbemannten Fahrzeugen, die Sprüheinrichtungen und Tanks für das Ausbringen von verbotenen biologischen oder chemischen Agenzien an Bord tragen. Im Rahmen des Vertrages über konventionelle Streitkräfte in Europa sowie des Mittelstreckenwaffen-Vertrages fallen bestimmte UMS unter die mit Obergrenzen versehenen Waffensysteme. Die Kündigung dieser Verträge, die insbesondere durch Russland in Frage gestellt werden, könnte einen neuen Entwicklungsschub bei UMS auslösen. Längerfristig werden alle Streitkräfte unbemannte Luftfahrzeuge in größeren Stückzahlen in ihre Streitkräftestrukturen integrieren. Auch die Einführung von Land-, Unter- und Überwasser-UMS ist angesichts fortschreitender Technologiedynamik wahrscheinlich. Bewaffnete UMS könnten eine erhebliche asymmetrische Bedrohung für Streitkräfte bedeuten und sollten deshalb in Rüstungskontrollüberlegungen einbezogen werden. Die deutsche Rüstungskontrolldiplomatie sollte zusätzliche Anstrengungen unternehmen, die vorhandenen Rüstungskontrollregime zu stärken und eine Kündigung der Verträge zu verhindern, da sonst kein rüstungskontrollpolitisches Rahmenwerk mehr die Rüstungsdynamik auf dem Gebiet der UMS in Europa einhegen kann.

Mit dem Missile Technology Control Regime steht ein im Ansatz wirkungsvolles Non-Proliferationsinstrument für moderne UMS-Technologien zu Verfügung, das angesichts der technologischen Weiterentwicklung Technologien unbemannter Kampfflugzeuge einbeziehen sollte. Der Hague Code of Conduct sollte Marschflugkörper und unbemannte Luftfahrzeuge mit einer Reichweite von über 500 km und einer Nutzlast größer als 300 kg einbeziehen. Informationen, die die fortschreitende Rüstungsdynamik von UMS beschreiben, sollten in einem zu gründenden internationalen Datenzentrum gesammelt und den Mitgliedsstaaten im Rahmen des Hague Code of Conduct zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen des Wassenaar-Abkommens sollten auch UMS-Technologien stärker einbezogen werden.

Sollten mit einer neuen US-Administration Rüstungskontrolle und Abrüstung ab 2009 eine Renaissance erfahren, wären folgende Verbotstatbestände international einzuführen oder in gültige Rüstungskontrollverträge (wie START, INF etc.) einzubeziehen:

- Verbot von UMS mit Massenvernichtungswaffen (Aufnahme in START/INF),
- Verbot unbemannter Kampfflugzeuge (Aufnahme in KSE),
- Verbot von bewaffneten Satelliten im Weltraum (im Rahmen eines allgemeinen Verbots von Weltraumwaffen).

Kriegsvölkerrecht

Bei der Einführung neuer Mittel und Methoden der Kriegsführung müssen die Staaten nach Art. 36 des Zusatzprotokolls I zu den Genfer Rotkreuzabkommen prüfen, ob diese mit dem Kriegsvölkerrecht übereinstimmen. Eine völlig verbindliche Pflicht, dass UMS ein Nationalitätszeichen führen müssen, besteht nicht. Einsatz von UMS zur Aufklärung ist im bewaffneten Konflikt erlaubt; es müssen aber Gefährdungen der Zivilbevölkerung oder ziviler Objekte vermieden werden. Bei der Bewaffnung von UMS dürfen verbotene Waffen (z.B. biologische) nicht verwendet werden. In Bezug auf das Unterscheidungsgebot (zwischen legitimen und illegitimen Zielen) muss sichergestellt sein, dass auf Veränderungen im Zielgebiet, die sich zwischen Start des UMS und Ankunft ergeben, reagiert werden kann. Allgemein muss gewährleistet sein, dass legitime Ziele als solche erkannt werden; das verlangt eine Eingriffsmöglichkeit eines menschlichen Bedieners. Völlig autonome Systeme, die ihre Ziele selbständig suchen und verändern können, können keine verantwortlichen Entscheidungen treffen und sind mit dem Kriegsvölkerrecht nicht vereinbar. Das Bedienungspersonal von UMS hat auch dann Kombattantenstatus, wenn es nicht den Streitkräften angehört, sondern z.B. einem Vertragsunternehmen. Auch wenn sie tief im Hinterland (einschließlich des u.U. weit entfernten Heimatlands) steht, ist die UMS-Steuerstation eine militärische Einrichtung und darf angegriffen werden.

Aus Überlegungen des Kriegsvölkerrechts ergeben sich folgende Empfehlungen:

Der Einsatz von bewaffneten UMS sollte in jedem Fall im Hinblick auf seine Kompatibilität mit den Anforderungen des humanitären Völkerrechts auf der Grundlage von Artikel 36 ZP I überprüft werden. Dabei sind Erkenntnisse aus einschlägigen Überprüfungsverfahren in Bezug auf zu Aufklärungszwecken eingesetzte UMS zu berücksichtigen.

Für den Einsatz von UMS im bewaffneten Konflikt sollte die Entwicklung ausdrücklicher völkerrechtlicher Regelungen (möglicherweise in Gestalt eines Manuals) in Erwägung gezogen werden. Dabei muss in erster Linie das Unterscheidungsgebot gestärkt werden. Darüber

hinaus sind einzelne Details aus der Perspektive der Gutachter regelungs-, mindestens klarstellungsbedürftig, nämlich insbesondere

1. Vorkehrungen gegen technisches Versagen von bewaffneten und unbewaffneten UMS,
2. eine klare und eindeutige Verpflichtung der UMS betreibenden Konfliktpartei auf die Beachtung der Regeln des humanitären Völkerrechts beim Einsatz von UMS,
3. Interventionsmöglichkeiten und -pflichten des Steuerers sowie der Einbau von Selbstzerstörungsmechanismen für den Fall des Versagens der Intervention des Steuerers,
4. die klare Trennung einer Kontrollstation von zivilen Objekten,
5. ein Verbot vollständig autonomer Systeme, soweit und solange es nicht möglich ist, allen Regelungen im Hinblick auf Zielerfassung (targeting) und allen erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen in der Weise Rechnung zu tragen, wie dies bei nicht-autonomen Systemen (also dem Einsatz menschlicher Fähigkeiten) der Fall ist.

Militärische Stabilität und Kriegsverhütung

Je nach den technologischen Möglichkeiten können UMS im Prinzip eine hohe Zielgenauigkeit und große Reichweite besitzen, sie sind je nach Typ und unter Nutzung des jeweiligen Mediums gut getarnt sowie von Land, Luft oder See einsetzbar. Dies ermöglicht ein tiefes Eindringen ins Territorium des Gegners und damit überraschende Präzisionsschläge. Besonders in niedrigen Höhen und bei langsamen Geschwindigkeiten sind unbemannte Luftfahrzeuge (UAVs) extrem schwer bzw. spät zu detektieren. Eine flächendeckende Luftverteidigung hierfür existiert bisher nicht.

Da einige UMS modular mit konventionellen wie Massenvernichtungswaffen bestückt werden können, können sie in einer Krise oder in einem Krieg destabilisierend wirken. Ein Verteidiger weiß im Angriffsfalle nicht, ob eine unbemannte Plattform mit oder ohne MVW bestückt ist. UAVs können auch deshalb destabilisierend wirken, weil sie leichter in fremdes Territorium geschickt werden können. Aufgrund eines vorprogrammierten Flugpfades in geringer Flughöhe und eines kaum identifizierbaren Abschussortes wären sie für die verteidigende Aufklärung kaum auffindbar, und ihr Einsatz beinhaltet zudem geringere Risiken bezüglich eines möglichen Gegenschlages. Bereits heute existieren Marschflugkörper für Angriffsmissionen, jedoch sind diese unflexibler, oft größer und schwieriger zu verschießen. Angesichts der Zugänglichkeit von wichtigen UMS-Komponenten auf dem internationalen Markt, des Exports und Umbaus von Marschflugkörpern und der allgemeinen Bedrohungslage in Südasien und dem Mittleren Osten ist abzusehen, dass das Wettrüsten zwischen Indien und Pakistan sowie zwischen Israel und einzelnen Nachbarstaaten auf dem Sektor von Trägersystemen auch unbemannte Plattformen, einschließlich bewaffneter, mit einbeziehen wird.

Angesichts der allgemeinen konventionellen Überlegenheit der US- sowie alliierten Streitkräfte bildet die Nutzung von UMS, insbesondere UAVs, ein zusätzliches Problem im Rahmen der asymmetrischen Kriegsführung. So kann ein koordinierter Überraschungsangriff auf Truppenquartiere ein zunehmendes Risiko darstellen, wenn UMS in die Hand von Aufständischen, Rebellen oder anderen Kriegsparteien geraten. Auch der Einsatz von Massenvernichtungswaffen mittels UAVs ist mittelfristig denkbar. Für im Ausland stationierte Streitkräfte kann die asymmetrische Verwendung von umgebauten Marschflugkörpern und UAVs zunehmend Schwierigkeiten bereiten, wie dies der Irak-Krieg 2003 gezeigt hat. So könnte Iran die Straße von Hormuz mit Antischiffs-Marschflugkörpern sperren oder China die Straße von Taiwan. Die Einbeziehung von Marschflugkörpern und UAVs in regionale Rüstungskontrollabkommen sollte angestrebt werden.

Die Fähigkeit, konventionelle Präzisionsschläge über das gesamte Reichweitenpektrum durchzuführen, wird insbesondere durch die Vereinigten Staaten vorangetrieben. Hierzu gehört die Umrüstung ballistischer Interkontinentalraketen auf konventionelle Munition und die Entwicklung von Überschall-Marschflugkörpern mit großer Reichweite sowie die Verwendung von UAVs mit Präzisionsmunition (Prompt Global Strike). Längerfristig kann diese Entwicklung potenziell auch die Abschreckungsarsenale der Nuklearwaffenstaaten in Frage stellen. Hinzu treten die weltraumgestützten Aufklärungsfähigkeiten und die Raketenabwehrstationierungen, die die Zweitschlagsfähigkeiten Russlands und Chinas bedrohen. Wenn nicht ergänzende kooperative Maßnahmen zwischen den Nuklearmächten eingeführt werden, kann dies zu einem Wiederaufleben des nuklearen Wettrüstens führen.

Auch unbemannte Kampfflugzeuge bilden in einer Krise zwischen mehr oder weniger symmetrischen Gegnern nur eine Komponente, könnten aber den Auslöser für den Übergang in eine intensive militärische Auseinandersetzung bilden – zumindest wenn eine Seite einen Kriegsvorwand sucht. Unbemannte Plattformen könnten gerade den Auftakt zu Kriegshandlungen bilden, da diese zunächst ohne Risiko, eigene Soldatenleben aufs Spiel zu setzen, gegen kritische und wichtige Ziele im Rahmen eines Überraschungsschlages eingesetzt werden könnten. Durch Unfälle oder technisches Versagen könnten UMS gefährliche Situationen heraufbeschwören. Deshalb sollten größere UMS mit einem Selbstzerstörungsmechanismus ausgestattet sein.

Gefahrenvermeidung für nachhaltige gesellschaftliche Entwicklungen

Der terroristische Einsatz von Kleinst-UAV (einige 10 bis einige 100 g Zuladung) kann zukünftig nicht ausgeschlossen werden, auch wenn billigere alternative Mittel zu Verfügung stehen oder sich stets Attentäter finden lassen, die ihr eigenes Leben durch Selbstmordatten-

tate opfern. Dennoch könnten z.B. UAVs Menschengruppen erreichen, die jetzt noch gut geschützt sind. Folgende Szenarien sind denkbar:

1. Angriffe mit Kleinst-UAVs gegen Einzelpersonen sind möglich, wenn es Attentätern gelingt, die kleine Zuladung (z.B. 50 g) Sprengstoff oder das Gift in unmittelbare Nähe der Zielperson zu bringen oder die Person direkt anzufliegen. Dies verlangt allerdings Training und gesicherte Datenverbindungen. Für einen solchen Angriff ist keine Infrastruktur für den Abschuss nötig, sondern lediglich das Klein-Luftfahrzeug und ein Funkempfänger/-sender.
2. Angriffe durch UMS gegen die allgemeine Bevölkerung sind möglich, wenn sie Sprühvorrichtungen für C- oder v.a. B-Waffen haben oder solche Stoffe in Trinkwasserreservoirs einbringen können.
3. In Einzelfällen ist auch die Zerstörung empfindlicher Stellen der sonstigen Infrastruktur denkbar, allerdings wären die Wirkung und die Konsequenzen zumeist begrenzt. In besonderen Fällen könnten auch kleine UGV oder UUV benutzt werden.

Im Wesentlichen sind viele UMS-Entwicklungen in einer Frühphase der technischen Entwicklung, und angesichts einer Vielfalt von Einsatzzwecken sind spezifische neue kriminelle Anwendungen noch nicht direkt erkennbar. Kleine USV sind bisher nicht allgemein zugänglich, kleine UUV werden wohl weitgehend auf militärische Nutzergruppen begrenzt bleiben, und Satelliten sind sowieso nur durch Raumfahrt betreibende Staaten oder Großfirmen zu handhaben.

Terroristischer Einsatz von UAVs würde verglichen mit bisherigen Anschlagsszenarien nur in seltenen Fällen potenzielle Vorteile bieten, vielmehr kann oftmals die Wirkung mit anderen Angriffs- und Ausbringungsmethoden viel einfacher erzielt werden. Vorteile sind insbesondere möglich unter Verwendung von bemannten oder unbemannten Kleinflugzeugen. Hier sollte das Lizenzierungsverfahren überprüft und verschärft werden. Außerdem könnte die Aufmerksamkeit in Bezug auf den Missbrauch von Flugsystemen in den entsprechenden Nutzerkreisen (Modellflugzeuge, Flugschulen, Hobbypiloten) verstärkt werden.

Unbemannte Systeme aus verkehrsrechtlicher Perspektive

Die aktuelle Rechtslage stellt sich nach Art der unbemannten Systeme (Luft-, Boden- oder Seefahrzeuge), deren Nutzungszweck (militärisch, polizeilich, zivil), des Regelungsansatzes (Zulassung und Betrieb) und der Regelungsebene (national, europarechtlich, völkerrechtlich) wie folgt dar:

- Im geltenden deutschen Recht entsprechen zivil genutzte unbemannte Luftfahrzeugsysteme weder dem Begriff der Flugzeuge noch dem der Drehflügler und müssen somit entweder

als Flugmodelle oder als „sonstige(...), für die Benutzung des Luftraums bestimmte(...) Gerät(e)“ qualifiziert werden. Letztere sind nach deutschem Recht bis zu einem Gewicht von 150 kg nicht zertifizierungspflichtig. Soweit sie als Flugmodelle eingeordnet werden können, ist neben den dafür zu erfüllenden Kriterien (Zweck der Sport- oder Freizeitgestaltung, Betrieb in Sichtweite des Steuerers, Startgewicht bis 150 kg) eine Muster- und Stückprüfung nach dem „Stand der Technik“ erforderlich.

Europarechtlich richtet sich die Zulassung der beiden genannten Optionen ab einem Startgewicht von 150 kg nach der Grundverordnung der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) und ist mithin den dort aufgeführten Zulassungskriterien unterworfen. Ausgenommen sind dabei Systeme in hoheitlicher Verwendung, welche infolgedessen nach den Vorschriften des deutschen Luftverkehrsgesetzes bzw. den einschlägigen Zentralen Dienstvorschriften der Bundeswehr und landespolizeirechtlichen Normen zu behandeln sind.

Das einzige völkerrechtliche Abkommen mit einem direkten Bezug zu unbemannten Luftsystemen ist das Übereinkommen vom 7. Dezember 1944 über die internationale Zivilluftfahrt. Es verpflichtet die Vertragsparteien trotz seiner grundsätzlich privatrechtlichen Ausrichtung beim Bau von Staatsluftfahrzeugen (auch unbemannt) zur Rücksichtnahme auf den Verkehr von Privatluftfahrzeugen, bekräftigt die schon nach allgemeinem Völkerrecht geltende Genehmigungspflicht von Aufklärungsflügen über fremdem Hoheitsgebiet (Art. 8 Satz 1) und stellt überdies einen maßgeblichen Grund zur Implementierung der EASA-Grundverordnung dar, deren Anliegen auch die Vereinheitlichung der Richtlinien der Internationalen Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) in Europa war. In naher Zukunft kann seitens der ICAO mit neuen Regelungen zum Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge in der mittlerweile üblichen Form der Standards and Recommended Practices gerechnet werden.

- Wegen ihrer eingeschränkten praktischen Relevanz ist die Regelungsdichte bei unbemannten Boden- und Seefahrzeugen deutlich geringer. Eine Unterscheidung zwischen ziviler und hoheitlicher Nutzung ist hierbei gleichermaßen zu beachten.
- Zulassung und Betrieb von unbemannten Bodenfahrzeugen sind im deutschen Straßenverkehrsgesetz verankert, wonach sie sich grundsätzlich als Kraftfahrzeuge einordnen lassen. Einen spezifischen Bezug zu unbemannten Bodensystemen enthalten jedoch weder deutsches noch europäisches Recht, was ihren Betrieb im öffentlichen Straßenverkehr als bis auf Weiteres unwahrscheinlich erscheinen lässt. Unabhängig davon befinden sich unbemannte Bodenfahrzeuge bei den deutschen Streitkräften bereits im Einsatz (Minensuch-

und Minenräumfahrzeuge), da sie sich hier im Geltungsbereich von streitkräfteinternem Recht bewegen, wonach ihr Betrieb unter entsprechenden Voraussetzungen zulässig ist.

Zusätzlich zu der Unterscheidung zwischen privaten und staatlichen Nutzungszwecken ist bei unbemannten Seefahrzeugen auch zwischen der Nutzung auf Binnengewässern und der Nutzung auf dem Meer zu unterscheiden, wobei sowohl im nationalen als auch im internationalen Recht ein Bezug zu unbemannten Seefahrzeugen explizit bisher nur in Bezug auf Positionslaternen bzw. bei ortsfesten Anlagen erkennbar ist.

Für die weitere Entwicklung wichtig sind das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen, die Bestimmungen der International Maritime Organization (IMO) und die Regeln zur Verhütung von Zusammenstößen auf See vom 20. Oktober 1972.

- Der rechtlich einwandfreie Einsatz unbemannter Systeme bedarf teilweise umfassender Reformen der geltenden Regelungen im Luft-, See- und Straßenverkehrsrecht.

In Bezug auf unbemannte Luftfahrzeuge wäre eine eindeutige Zuordnung und nicht zu eng umrissene Definition des Begriffs der UAV wünschenswert, eine Änderung des Luftverkehrsgesetzes scheint dahingehend unumgänglich.

Zur Schließung vorhandener Regelungslücken ist eine Harmonisierung der nationalen und europarechtlichen Vorschriften anzustreben, gerade im Bereich von UAVs unter 150 kg besteht dahingehend Normsetzungsbedarf. Ob dabei Gewicht oder Steuerungsmodalität der Geräte Anknüpfungspunkt bei einer Neuregelung sein sollten, ist bisher ebenso ungeklärt wie auch die Frage nach Qualifikations- und Zulassungsregeln für das mit dem Einsatz von UAV betreute Personal sowie Verkehrs- und Kollisionsvermeidungsregeln für unbemannte Luftsysteme („see and avoid“ versus „sense and avoid“).

Unbemannte Bodenfahrzeuge treffen im nationalen Recht auf eine sehr hohe Regelungsdichte und ebenso hohe Risiken beim Betrieb im öffentlichen Verkehrsraum wegen dessen feingliedriger Ausgestaltung. Die Schaffung eines eigenen definitorischen Rahmens erscheint daher auch hier angebracht; parallel zu den Luftfahrzeugen sollte auch geprüft werden, inwieweit die persönliche Qualifikation des Steuerers einer eigenständigen Regelung bedarf.

Der größte Spielraum eröffnet sich bei unbemannten Wasserfahrzeugsystemen, wobei hier gerade die nationalen und internationalen Kollisionsvermeidungsregeln genauer analysiert werden sollten, um adäquate Regelungskonzepte zu entwickeln; fahrzeugtechnische Zulassungsfragen spielen eine untergeordnete Rolle.

Sowohl Zulassung und Betrieb unbemannter Systeme an sich als auch deren konkreter Einsatz und die Voraussetzung des Steuerns (oder gerade des Nicht-Steuerns) sind momentan

nicht hinreichend ausgestaltet und sollten Gegenstand einer tiefer gehenden Analyse und gegebenenfalls gesetzgeberischer Maßnahmen sein.

1 Unbemannte Fahrzeuge – Geschichte, Begriffe, Trends

1.1 Unbemannte Fahrzeuge – ein aktueller militärischer Trend

In Folge der Entwicklung erster Computer und miniaturisierter Bauelemente entstand in den hoch entwickelten Industrieländern bald auch der Wunsch nach Robotern und anderen fahrer- oder pilotenlosen Fahrzeugen. Insbesondere deren Streitkräfte haben entsprechende Forschung und Entwicklung über Jahrzehnte betrieben und unterstützt, besonders stark in den USA. Erhoffte Durchbrüche ließen aber zunächst auf sich warten, die ersten Entwicklungen erfolgten eher in kleinen Schritten. Bei Luftfahrzeugen, die sich im Wesentlichen in freiem Manövrierraum bewegen, wurden automatisch gesteuerte Systeme (die deutsche V-1) schon im 2. Weltkrieg im großen Maßstab eingesetzt. Die systematische Nutzung ferngesteuerter Aufklärungsdrohnen begann durch die USA in den 1970er Jahren im Vietnamkrieg. Weltraumfahrzeuge waren überwiegend unbemannt. Unter Wasser haben unbemannte Fahrzeuge eine beschränkte Rolle gespielt, auf Land ist es bisher im Wesentlichen bei Prototypen geblieben.

Viele technische Entwicklungen haben ermöglicht, dass es inzwischen einen deutlich verstärkten Trend zu unbemannten militärischen Fahrzeugen und Systemen gibt. Auf allgemeiner Ebene sind vor allem Mikroelektronik, Informations- und Kommunikationstechnik zu nennen, die immer höhere Rechengeschwindigkeiten und Datenraten in immer kleineren Geräten sowie detailliertere Modellierung erlauben. Konkretere Bereiche sind Flugsteuerung, Satelliten für Kommunikation und Navigation, optische und andere Sensorik, Bildverarbeitungssoftware usw.

Satelliten, die als Weltraumsysteme einen Sonderfall darstellen, sind für viele Anwendungen etabliert, sowohl im militärischen wie im zivilen Bereich.

Unbemannte Luftfahrzeuge werden inzwischen von über 50 Ländern entwickelt, hergestellt oder genutzt, in den meisten Fällen für militärische Zwecke. Die Hauptanwendung ist bisher die Aufklärung, aber erste Typen sind auch schon bewaffnet, und besondere unbemannte Kampfflugzeuge sind in einer Reihe von Ländern in Entwicklung.

Unbemannte Wasser- und Landfahrzeuge sind demgegenüber noch weitgehend im Stadium der Entwicklung und Erprobung, sowohl zivil als auch militärisch. Nur bei zivilen Unterwasserfahrzeugen gibt es schon eine nennenswerte Nutzung.

Der Vorreiter auf diesem Gebiet sind – bezogen auf Forschung, Entwicklung, Einsatz und Finanzierung – die Vereinigten Staaten. Sie werden in den nächsten Jahrzehnten unbemannte Systeme in größeren Stückzahlen für verschiedene Truppenteile und mit unterschiedlichen Funktionen in ihre Teilstreitkräfte einführen, einschließlich solcher auf Land und auf See. Das erzeugt einen Trend, der von den mit den USA verbündeten wie auch von anderen Staaten bereits aufgenommen worden ist. Als militärische Vorteile von unbemannten Systemen werden verschiedene Argumente angegeben: Eigene Menschenleben werden geschont. Einsätze können länger dauern. Fahrzeuge können kleiner sein. Unbemannte Systeme kann man in gefährlichere Situationen schicken usw.

Der Trend zu unbemannten militärischen Systemen wirft viele Fragen auf, insbesondere wenn solche Fahrzeuge bewaffnet werden.

- Welche Objekte werden sinnvoll zu unbemannten militärischen Systemen gezählt?
- Wie sind der Stand der Technik und die Entwicklungsperspektiven – bei Land-, Wasser- und Luftfahrzeugen, in verschiedenen Ländern?
- Wer sind die wichtigen Akteure?
- Wie groß sind die militärischen und zivilen Märkte?
- Welche volkswirtschaftliche Bedeutung haben unbemannte Systeme?
- Wie relevant sind sie für die wehrtechnischen Kernfähigkeiten in Deutschland?
- Wie sind unbemannte militärische Systeme von Rüstungskontrollverträgen und Exportkontrollvereinbarungen betroffen?
- Wie sind diese Systeme unter dem Kriegsvölkerrecht zu beurteilen?
- Ist es zulässig, die Entscheidung zum Töten einem technischen System zu überlassen?
- Was werden die Folgen einer breiten Einführung unbemannter militärischer Systeme für Stabilität und internationale Sicherheit sein?
- Welche Optionen der vorbeugenden Begrenzung gibt es, welche Möglichkeiten für nationale und multinationale Gestaltung?
- Wie ist die Lage unbemannter, militärischer wie ziviler, Systeme – v.a. von Luftfahrzeugen – unter dem zivilen Recht?
- Gibt es hier Regelungslücken und Regelungsbedarf?

Mit der Beantwortung dieser Fragen soll dieses Gutachten die für unbemannte militärische Systeme relevanten technischen und ökonomischen Fakten darstellen und mit einer politischen sowie juristischen Bewertung eine Grundlage für eventuelle politische Entscheidungen legen.

1.2 Anmerkungen zur Geschichte von (militärischen) unbemannten Systemen

Nach vielen Jahrzehnten Forschung und Entwicklung für unbemannte Land- und Luftfahrzeuge waren es die letzteren, die als erste beim Militär eingeführt wurden – Wasserfahrzeuge spielten eher eine Nebenrolle, und Weltraumfahrzeuge bildeten eine besondere Klasse. Daher beginnt die Darstellung hier mit den Luftfahrzeugen, jedoch wird später in der Studie i.d.R. die Reihenfolge Land – Wasser – Luft (und ggf. Weltraum) eingehalten.

Luftfahrzeuge¹

US-Experimente mit unbemannten Flugzeugen gab es schon vor 1900 und während des ersten Weltkriegs, in Deutschland gab es 1903 einen ersten unbemannten Flug.² Nach Flugtests 1917 baute Großbritannien in den 1920er Jahren erste Marschflugkörper. 1942 berichteten deutsche Flugzeugingenieure (auf einer geheimen Konferenz) über Forschung an selbst- und ferngesteuerten Flugbomben.³ Die ab 1944 eingesetzte, programmiert fliegende Flügelbombe V1 – der erste Marschflugkörper – markiert den militärischen Einsatz in großem Maßstab.⁴

Seit dem 2. Weltkrieg gab es kleine Zieldrohnen, daraus entwickelten sich Drohnen für andere Zwecke, die zunächst mit Sichtverbindung ferngesteuert wurden. In den 1950er Jahren entstanden Lenkflugkörper gegen Flugzeuge und der erste US-Marschflugkörper, Antischiffsflugkörper folgten in den 1960er Jahren. In den 1970er Jahren wurden von USA und Sowjetunion Langstreckenmarschflugkörper entwickelt und für konventionelle sowie nukleare Einsätze stationiert. Nach Beschaffung von US-UAVs baute Israel in derselben Periode die ersten eigenen Aufklärungsdrohnen. Mit der schnellen Entwicklung der Informations- und Kommunikationstechnik erweiterten sich die Möglichkeiten automatischer Flugsteuerung erheblich, Videobilder konnten nun auch über größere Entfernungen in Echtzeit übertragen werden, und durch geringeres Gewicht von Sensoren und Elektronik konnten die Flugzeuge verkleinert werden. Im Vietnamkrieg wurden viele US-Piloten abgeschossen, was das Interesse an unbemannten Flugzeugen wachsen ließ. Bis zum Ende des Krieges 1975 flogen die US-Streitkräfte tausende ferngesteuerte Aufklärungseinsätze.⁵ Ab den 1970er Jahren wurden Drohnen zur Aufklärung bei vielen nationalen Streitkräften eingeführt.

¹ Die Geschichte der unbemannten Luftfahrzeuge beschreibt Newcome, 2004, eine kurze Darstellung gibt Sullivan, 2006, Übersichten in OSD, 2005: S. 41 ff. Die Geschichte unbemannter Kampfflugzeuge wird von Clark, 2000, dargestellt.

² Hall, 1978, Clark, 2000.

³ Vorträge, 1942.

⁴ Clark, 2000.

⁵ Hall 1978, Clark 2000.

Erste Arbeiten der US-Luftwaffe für unbemannte Kampfflugzeuge der 1960er und 1970er Jahre wurden in den späten 1970er Jahren aus einer Vielzahl von Gründen eingestellt. Neues Interesse entstand nach den israelischen Einsätzen gegen syrische Luftabwehrstellungen im Libanon 1982; es verstärkte sich in den 1990er Jahren mit den erfolgreichen Einsätzen unbemannter Aufklärungsflugzeuge im ersten Krieg gegen den Irak und in den Einsätzen im früheren Jugoslawien.⁶ In den Kriegen in Afghanistan und Irak nach September 2001 haben die Koalitionstruppen etwa 20 verschiedene Typen für Aufklärung, Angriffe und Streitkräfteschutz eingesetzt.⁷

*Landfahrzeuge*⁸

In den USA begann die Forschung an unbemannten Landfahrzeugen in den 1960er Jahren; zu der Zeit dauerte die Computer-Berechnung einer Fortbewegung um 1 m in einer Laborumgebung bis zu 15 Minuten. In den 1980ern betrieb die US-Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) das Projekt „Autonomous Land Vehicle“; 1987 wurde über einige Kilometer Straße eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 15 km/h erreicht, im Gelände war es 3 km/h. Weitere Arbeiten zielten auf Aufklärung und benutzten ferngesteuerte Fahrzeuge. In den 1990ern wurde ein Teilstreitkräfte übergreifendes Büro eingerichtet,⁹ das ein Tactical Unmanned Ground Vehicle entwickelte. Verschiedene Demonstrationen folgten. Seit 1981 wurden von verschiedenen Institutionen Roboter für die Sicherung von Einrichtungen entwickelt.

Parallel entwickelten die NASA der USA und die Sowjetunion seit den 1970ern unbemannte Fahrzeuge für die Erkundung des Mondes oder von Planeten.

In Deutschland gab es von 1986 bis 1994 ein großes Projekt zum autonomen Fahren auf Straßen, das auf den zivilen Straßenverkehr abzielte.¹⁰ Erst in jüngster Zeit verstärken sich Aktivitäten für militärische unbemannte Landfahrzeuge, v.a. durch die seit 2006 durchgeführten European Land Robot Trials (ELROB).

⁶ Clark, 2000, Air Force, 2005.

⁷ OSD, 2005.

⁸ Gage, 1995; einiges über frühe militärische US-Roboterforschung findet sich bei von Randow, 1997, v.a. im 15. Kapitel. Arbeiten der frühen 1980er Jahre von Army und DARPA wurden von Committee, 1987, bewertet.

⁹ In der Folge eines Kongressbeschlusses zum Steuerjahr 1990 wurde das Unmanned Ground Vehicles Joint Program Office gegründet und dem Office of the Secretary of Defense unterstellt, Gage, 1995.

¹⁰ PRO-ART, vom damaligen BMFT im Rahmen des europäischen PROMETHEUS gefördert, Nagel, 2008.

Wasserfahrzeuge

Unbemannte Oberflächen-Wasserfahrzeuge (USV) wurden von der US-Marine nach dem 2. Weltkrieg für die Minenräumung und die Bestimmung der Gefechtsschäden verwendet, 1946 auch zur Entnahme radioaktiver Wasserproben unmittelbar nach Atombombentests im Pazifik. In den späten 1960er Jahren wurden ferngesteuerte Motorboote zur Minenräumung in Vietnam verwendet.¹¹

Torpedos können als Vorläufer unbemannter Unterwasserfahrzeuge (UUV) gelten. Sie wurden schon in den 1860er Jahren eingeführt, zunächst bei der britischen Marine, dann bald auch in anderen Ländern.¹² Nach dem 2. Weltkrieg haben die USA mit UUV das Rückholen von Torpedos geübt und 1966 eine verlorene Wasserstoffbombe am Meeresgrund gefunden und aufgenommen. Von 1998 bis 2003 wurden auf einigen U-Booten UUV zur Minenerkennung verwendet, 1997 in Form eines Prototypen auch von einem Überwasserschiff aus.¹³

Weltraumfahrzeuge

Da für den menschlichen Aufenthalt im Weltraum besondere Versorgungs- und Schutzeinrichtungen nötig sind und es extremen Aufwand erfordert, Nutzlast in den Weltraum bzw. auf eine Umlaufbahn zu bringen, war die große Mehrheit der Satelliten von Anfang (1957) an unbemannt. Bemannte Flüge (1961 erster im Umlauf, 1969 zum Mond) waren die Ausnahme. Schon seit 1959 wurden militärische Aufklärungssatelliten gestartet. Bald kamen Wetterbeobachtung, Navigation, Kommunikation und Frühwarnung vor Raketenangriffen als Aufgaben hinzu. Inzwischen sind militärische Satellitendienste für Einsätze unverzichtbar geworden und werden laufend ausgebaut. Ein qualitativer Sprung ergab sich mit dem Global Positioning System (GPS) der USA, das seit den 1980er Jahren weltweit die Ortsbestimmung auf etwa 15 m genau erlaubt.

Satellitenkommunikation ist auch ein wichtiger Bestandteil für die in großer Entfernung operierenden unbemannten Systeme in anderen Medien (gegenwärtig v.a. Luft).

Parallel zur verstärkten Nutzung ziviler Satelliten (für Kommunikation, Fernsehen, Wetter u.a.) haben viele Staaten eigene Satelliten stationiert, die in wachsendem Maß auch militärische Aufgaben bekommen. Die USA und Russland sind weiterhin die führenden Weltraum-mächte.

¹¹ Department of the Navy, 2007: S. 1 ff.; Committee, 2005: S. 15 f.

¹² Kirby, 1972.

¹³ Department of the Navy, 2007: S. 1 ff.; Committee, 2005: S. 15 f.

1.3 Nomenklatur und Definition

Im Laufe ihrer Geschichte wurden unbemannte Fahrzeuge mit verschiedenen, z.T. unsystematischen, Namen bezeichnet. Am deutlichsten zeigt sich die Vielfalt der Bezeichnungen bei Luftfahrzeugen (Tabelle 1-1), was sowohl historische wie auch rechtliche Gründe hat,¹⁴ aber auch bei Landfahrzeugen wird manchmal von Robotern oder robotischen Fahrzeugen, manchmal von ferngesteuerten, manchmal von autonomen Fahrzeugen gesprochen. Wegen seiner Unschärfe wird hier der Begriff Roboter weitgehend vermieden.¹⁵

Tabelle 1-1 Verschiedene Bezeichnungen für unbemannte Luftfahrzeuge

Deutsch	Englisch
Unbemanntes Luftfahrzeug/Fluggerät	Unmanned Aerial Vehicle
Unbemanntes Flugzeug	Unmanned Aircraft
Drohne	Drone
Flugroboter	Air robot
Ferngelenktes Luftfahrzeug/Fluggerät	Remotely Piloted Vehicle, Remotely Operated Aircraft
Pilotenloses Flugzeug	Pilotless Aircraft

Inzwischen hat es eine gewisse Systematisierung gegeben, auf Englisch wird oft „Unmanned ... Vehicle“ benutzt, wobei dazwischen „Ground“, „Surface“ (auf dem Wasser), „Under-sea/underwater“ oder „Air/Aerial“ steht, mit den jeweiligen Abkürzungen UGV, UAV, USV, UUV – der Weltraum wird als Sonderfall betrachtet und hat bisher keine eigene Abkürzung, wohl weil die meisten Weltraumfahrzeuge unbemannt sind, s.u. Im Deutschen verwendet man entsprechend „unbemannte Land-/ (Unter-/Über-)Wasser-/Luftfahrzeuge.“

Parallel dazu und als Oberbegriff wird „Unmanned ... System“ benutzt. Das „System“ soll besonders betonen, dass es neben dem Fahrzeug weitere Komponenten gibt, v.a. eine Steuerstation und eine Kommunikationsverbindung; die entsprechenden Abkürzungen sind dann UGS, UUS/USS, UAS. Der gemeinsame Oberbegriff ist „Unmanned System“ (UMS). Diese Abkürzungen werden auch hier verwendet.

Es gibt verschiedene Definitionsansätze für unbemannte Systeme (UMS), sie haben sich über die Zeit zum Teil verändert. Die aktuellste Definition des US-Verteidigungsministeriums findet sich in der Studie „Unmanned Systems Roadmap 2007-2032“:¹⁶

¹⁴ Die Bezeichnung „Unmanned Aircraft“ wird z.B. gewählt, weil die US-Regulierungsbehörde den Begriff Flugzeug (und nicht Luftfahrzeug) benutzt, s. OSD, 2004, 2005.

¹⁵ Dabei gibt es noch zusätzlich die Schwierigkeit, dass Industrieroboter fest montiert sind. Wir verstehen hier als Roboter im eigentlichen Sinne nur Systeme, die sich fortbewegen können.

¹⁶ Department of Defense, 2007: S. 1, Hervorhebungen original.

“Die Definition unten geht aus der Definition unbemannter Luftfahrzeuge (UAVs) der vorliegenden Joint Publication (JP) 1-02 hervor, um eine Arbeitsdefinition eines ‚unbemannten Systems‘ zur Verfügung zu stellen.

Unbemanntes Fahrzeug. *Ein angetriebenes Fahrzeug, das keinen menschlichen Bediener trägt, das autonom oder aus der Ferne gesteuert werden kann, das einmal oder wieder verwendbar sein kann und das eine tödliche oder nicht tödliche Nutzlast tragen kann. Ballistische oder halb-ballistische Fahrzeuge, Marschflugkörper, Artilleriegeschosse, Torpedos, Minen, Satelliten und unbetreute Sensoren (ohne irgendeinen Antrieb) werden nicht als unbemannte Fahrzeuge angesehen. Unbemannte Fahrzeuge sind die Hauptkomponente unbemannter Systeme.“*

Dass hier Raketen, Flugkörper, Marschflugkörper, Torpedos und Satelliten explizit ausgenommen werden, hat verschiedene Gründe, die wir uns aber nicht zu eigen machen wollen, weil es zu viele Überschneidungen bei Technik und Einsatzprofil gibt.¹⁷ Auch das Kriterium „angetrieben“ muss unseres Erachtens nicht in jedem Fall erfüllt sein.¹⁸

Wichtig ist aber die begriffliche Trennung zwischen dem eigentlichen Fahrzeug und dem Gesamtsystem, in das es eingeordnet ist. Dieses System wird vom US-Verteidigungsministerium nicht explizit definiert. Ausführliche Angaben dazu finden sich aber z.B. beim Fachausschuss „Unmanned Aerial Vehicles (UAV)“ der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR), hier für unbemannte Luftfahrzeuge:¹⁹

„UAV-Systeme umfassen dabei – je nach militärischen oder zivilen Aufgabenstellungen – Bord- und Bodensysteme, deren Einsatzführung sowie die zugehörigen Nutzlasten. Sie bestehen aus den folgenden Teilsystemen/Hauptbaugruppen:

- Unbemannte Fluggeräte (UAVs)
- Bodenkontrollsystem
- Startfahrzeug/-vorrichtung
- Datenübertragungssystem
- Landesystem/-vorrichtung
- Bergefahrzeug/-vorrichtung
- Instandsetzungsfahrzeug/-Vorrichtung

¹⁷ Der Ausschluss von ballistischen, semi-ballistischen und Marschflugkörpern und Artillerieprojektilen findet sich auch in den Definitionen der NATO für UAV, dort ist er aber eher gerechtfertigt, da es sich ja um Luftfahrzeuge handelt, NATO, 2008: S. 2-U-2.

¹⁸ Die UMS Roadmap selbst enthält Fesselballons (ohne Antrieb) in den Listen vorhandener/geplanter UMS und verweist bei Forschung auf Arbeiten für Manipulationsarme im Weltraum, Department of Defense, 2007: S. 97-102, 43.

¹⁹ DGLR, 2007.

- Diverse Hilfsvorrichtungen (z.B. Betankung, Stromversorgung, Hebevorrichtungen, Transportbehälter)“

Für dieses Gutachten wurde folgende Definition gewählt:

„*Unbemannte Fahrzeuge* sind steuerbare, in der Regel angetriebene, Fahrzeuge, die keine menschlichen Bediener tragen.

Sie werden von Bedienern ferngesteuert, ggf. nur für Teile ihrer Bewegung oder Funktion, bewegen sich programmgesteuert oder autonom. Sie können für alle Medien (Land, Wasser, Luft und Weltraum) und ein breites ziviles wie militärisches Einsatzspektrum konstruiert werden und können einmal oder mehrfach verwendbar sein.

Sie enthalten Einrichtungen für die Bewegung und den Antrieb, Sensoren, Steuerungselemente (mit Aktoren), Navigation und ein informationsverarbeitendes System zur Steuerung, meist auch eine Datenverbindung zu einer Kontrollstation.

Unbemannte Systeme umfassen die zum Betrieb unbemannter Fahrzeuge erforderlichen Komponenten mit dem Fahrzeug als Hauptbestandteil, dazu das Kontrollsegment, das Datenübertragungssegment, ggf. auch Einrichtungen für Start oder Landung, Transport- und andere Unterstützungseinrichtungen.

Unter *Fahrzeug* verstehen wir ein Objekt, das sich auf irgendeine Art fortbewegen kann, einschließlich bisher technisch nicht oder kaum gebrauchter Formen wie schreiten, schlängeln oder Flügel schlagen.

Sich fortbewegen zu können heißt, den Bewegungszustand – die Geschwindigkeit oder Richtung – zumindest prinzipiell ändern zu können.“

Demnach sind Geschosse oder Raketen, die ballistisch fliegen (d.h. nur der Schwerkraft und ggf. der Luftwiderstandskraft ausgesetzt), keine Fahrzeuge, zählen aber als solche, sobald Klappen oder Triebwerke zur Bahnänderung vorhanden sind. Ballistische Raketen werden während der Brennphase und ggf. der Phase des Absetzens von Mehrfachgefechtsköpfen gesteuert, Steuerung während des Wiedereintritts wurde ebenfalls schon verwendet. Satelliten zählen nach diesem Kriterium als Fahrzeuge, solange sie in ihre Bahn gebracht werden und dann weiter, weil sie i.d.R. Triebwerke und Treibstoff zur Bahnkorrektur an Bord haben.²⁰ Torpedos und Marschflugkörper fallen offensichtlich unter diese Definition; dass das US-Verteidigungsministerium sie ausschließen möchte, ist wohl eher darauf zurückzuführen, dass

²⁰ Die prinzipielle Schwierigkeit der Grauzonen bleibt auch bei noch so genauer Definition bestehen – bleibt ein Schrottauto ein Fahrzeug? Wie ist es, wenn die Treibstoffvorräte zur Bahnkorrektur auf einem Satelliten erschöpft sind?

es diese etablierten Systeme aus der UMS-Diskussion heraushalten möchte.²¹ Es gibt aber z.B. offensichtliche technische und operative Ähnlichkeiten zwischen UAV und Marschflugkörpern – die letzteren könnten ohne sehr großen Aufwand so umgebaut werden, dass sie unterwegs umgesteuert werden können oder selbständig Ziele suchen und zurückkehren, wenn sie kein Ziel gefunden haben.²² Insgesamt werden die Unterschiede zwischen bewaffneten UAV und Marschflugkörpern zunehmend verschwinden. Ähnliches gilt für viele UUV: sie ähneln Torpedos in vieler Hinsicht, also ist es sinnvoll, Torpedos – die heutzutage oft ferngesteuert fahren und gezündet werden – ebenfalls als UUV aufzufassen. Die so definierten Systeme werden hier als UMS im weiteren Sinn bezeichnet.

Allerdings gibt es in der Tat neuartige UMS, die qualitativ neue militärische Optionen ermöglichen. Diese neueren Systeme besonders zu betrachten, ist sinnvoll, auch in Bezug auf alte und neue Rüstungskontrolle. Daher werden sie hier UMS im engeren Sinn genannt. (Was in den verschiedenen Abschnitten in die Diskussion einbezogen wird, hängt davon ab, was für die Analyse des jeweils behandelten Aspektes von der Datenlage her möglich oder vom Erkenntnisziel her zweckmäßig ist. Dabei bleibt die hier beschriebene umfassende Definition von UMS der Ausgangspunkt, Abweichungen werden jeweils im Detail benannt.) Auch unter Gesichtspunkten der präventiven Rüstungskontrolle spricht vieles dafür, vordringlich neu aufkommende Systeme zu begrenzen und die internationale Diskussion über solche Begrenzungen nicht auch noch mit dem Aus-der-Welt-Schaffen schon weit verbreiteter Systeme zu belasten. Daher ist es manchmal sinnvoll, die neuen Arten als UMS im engeren Sinn zu verstehen. Wenn man einen Grad der Ausprägung definiert, ergeben sich Werte wie in Tabelle 1-2. In Analogie zu technischen Klein-UMS würden Tiere dann als UMS zählen, wenn ihnen technische Komponenten implantiert/angefügt wurden.²³

²¹ So ist z.B. das Kriterium „mehrfach verwendbar“, das früher einmal zum Ausschluss von Marschflugkörpern verwendet wurde (z.B. OSD, 2005: S. 1, dort wird zusätzlich auf die Integration des Gefechtskopfs verwiesen), jetzt nicht mehr enthalten. Auch ist bemerkenswert, dass das Komitee des National Research Council, das autonome Fahrzeuge zur Unterstützung von Marineoperationen untersucht hat, seine Definition von „autonomen Fahrzeugen“ nur an den Kriterien „unbemannt“ und „gewisses Maß an Autonomie“ festgemacht hat, die ausdrücklich Torpedos, bewegliche Minen, ballistische Raketen, Marschflugkörper und Weltraumfahrzeuge einbezieht, auch wenn es diese Arten nicht weiter diskutiert, Committee, 2005: S. 13. Als Beispiele für die unterste Autonomieebene (programmiertes Verhalten mit physikalischem Modell) werden intelligente Bomben und Lenkflugkörper genannt, Committee, 2005: S. 45.

²² Ein System an der Grenze ist das SMArt 155 mm, das mit Artillerie verschossen wird; zwei Submunitionen sinken im Zielgebiet an Fallschirmen spiralförmig herab und suchen mit drei Sensorarten nach gepanzerten Zielen, das sie dann ggf. mit einer projektilbildenden Ladung angreifen, Diehl, 2008. Ein aerodynamisch fliegendes Luftfahrzeug wie das israelische Harpy, das eine halbe Stunde lang ein Zielgebiet absuchen kann und dann eine Radarstellung zerstört (s. Abschnitt 1.5.2), ist dagegen klar als UMS einzustufen.

²³ Insekten und Ratten wurden schon durch implantierte Elektroden ferngesteuert, verschiedene militärische Nutzungen wurden diskutiert, z.B. Altmann, 2006: Section 4.1.17. Nicht technisch manipulierte Tiere werden nicht als UMS gezählt.

Tabelle 1-2 Beispiele unbemannter Objekte und Grad der Ausprägung der Eigenschaft, unbemanntes Fahrzeug bzw. Hauptteil eines unbemannten Systems im *engeren* oder *weiteren* Sinn zu sein oder *nicht*.

Objekt	Ausprägung „unbemanntes Fahrzeug“
Gewehrgeschoss	nicht
Gelenkte Bombe	weit
Lenkflugkörper	weit
Torpedo	weit
Marschflugkörper	weit
Kleinstflugzeug	eng
Weltraum-, ballistische Rakete	weit
trainierte Ratte	nicht
rechnergesteuertes Insekt	eng
Fesselballon	nicht
Industrieroboter, ortsfest	nicht
Mobiler Lagerroboter	weit

Unbemannte militärische Systeme können u.a. für Aufklärung, für Kommunikation, für Transport oder als Waffe eingesetzt werden. Dementsprechend tragen die Fahrzeuge Sensoren, Funkübertragungseinrichtungen oder zerstörende Wirkmittel. Sie können im Verbund – auch mit bemannten Systemen – oder als Schwarm eingesetzt werden.

Aktuelle Entwicklungsziele sind u.a. allgemeine Verbesserung der technischen und militärischen Leistungsfähigkeit, erhöhte Autonomie und Miniaturisierung.

1.4 Wichtige Unterscheidungsmerkmale

Unbemannte Fahrzeuge lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien in Klassen einteilen, die in verschiedenem Grad voneinander abhängig bzw. unabhängig sein können. Sie werden im Folgenden dargestellt, mit Beispielen zu den jeweiligen Ausprägungen.

Das vielleicht wichtigste Kriterium ist das Medium, auf/in dem sich das Fahrzeug bewegen kann:

- auf Land,
- auf oder unter Wasser,
- in der Luft,
- im Weltraum.

Wichtige technische Parameter, die UMS charakterisieren, sind neben dem fehlenden menschlichen Operateur an Bord

- Vortriebsmechanismus (Rad, Kette, Beine, Propeller, Turbine, Vertikalrotor, Raketenantriebswerk),
- in Luft, in/auf Wasser: Art des Auftriebs (statisch, dynamisch),
- Energieversorgung (Batterie, Kraftstoff/Verbrennungsmotor/Turbine, Brennstoffzelle, Solarzelle),

- Ortsbestimmung und Navigation (Trägheitslenksystem, Satellitennavigation),
- Steuerungsmodus (programmgesteuert, ferngelenkt, ferngeführt, autonom),
- Datenverbindung (Kabel oder kabellos, per Funk oder akustisch (unter Wasser)),
- Wiederverwendbarkeit (einmal, mehrmals),
- Art der Nutzlast (Sensorik, Kommunikationseinrichtungen, allgemeine Lasten, Sprengstoff).

Auch biologisch-technische Hybridsysteme sind möglich, die sich unterscheiden nach dem

- Grad der Nutzung biologischer Komponenten (implantiertes Insekt, Kleinsäugetier).

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal sind geometrisch-physikalische Faktoren wie

- Länge, Breite bzw. Spannweite, Höhe (die Größe variiert z.B. von Kleinstflieger bis globales hoch fliegendes großes Flugzeug),
- Masse,
- Treibstoffkapazität bzw. Energievorrat.

Militärisch-operative Faktoren für die Leistungsfähigkeit sind

- Reichweite oder Einsatzradius,
- maximale Einsatzhöhe oder -tiefe,
- maximale Einsatzdauer (Ausdauer),
- Nutzlast,
- Startmodus,
- Signatur.

Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal für militärische UMS ist der Verwendungszweck, z.B.

- Minensuchroboter,
- Transportfahrzeug,
- Aufklärungsdrohne,
- Kommunikationsrelais,
- Kampffahrzeug.

1.5 Bestandsaufnahme

1.5.1 Bedingungen in den verschiedenen Medien

Die vier Hauptmedien Land, Wasser, Luft und Weltraum, in/auf denen sich UMS bewegen können, unterscheiden sich stark, einerseits von den physikalischen Eigenschaften her, die damit entscheidende Randbedingungen für die Bewegung, die Kommunikation u.a. stellen,

andererseits von der Schwierigkeit her, eine Trajektorie (Bahn der Bewegung) zu bestimmen und ihr zu folgen.

1.5.1.1 Landfahrzeuge

Auf Land wird die Gewichtskraft eines Fahrzeugs i.d.R. durch den stabilen Boden oder eine befestigte Fahrbahn ausgeglichen, allerdings gibt es auch weiche Gebiete (z.B. Sumpf, aufgeweichte Wiese), in denen ein Landfahrzeug versinken oder so weit einsinken kann, dass weiter Fahren unmöglich ist.²⁴ Die Steigung oder das Gefälle dürfen nicht zu groß sein. Für den Antrieb wird ausgenutzt, dass der Boden i.w. fest ist und Reibung zeigt; mittels Rad oder Kette, ggf. auch durch Schreiten oder Schlängeln wird eine Kraft auf den Boden nach hinten ausgeübt, deren Gegenkraft das Fahrzeug nach vorn drückt. Für einen Verbrennungsantrieb (Verbrennungsmotor, Turbine) kann der Sauerstoff der Umgebungsluft als Oxidator verwendet werden. Es gibt viele mögliche Hindernisse wie Bäume, Felsen, Gräben, Gebäude sowie andere Fahrzeuge. Funkkommunikation durch die Luft ist möglich – auf kurze Entfernungen direkt, längere Reichweiten ergeben sich mit Relaisstationen, die am Boden stehen oder durch Luftfahrzeuge getragen werden, Kommunikationssatelliten erlauben weltweite Verbindungen. Das automatische Erkennen einer Fahrbahn, im Gelände einer tragfähigen und genügend hindernisfreien Fahrstrecke stellt erhebliche Anforderungen an Sensorik und Signalverarbeitung und ist weiterhin ein wichtiges Forschungsfeld.

1.5.1.2 Wasserfahrzeuge

Durch seine hohe Dichte gibt es im Wasser eine hohe statische Auftriebskraft, die die Gewichtskraft eines Fahrzeugs leicht ausgleichen kann, wenn es entsprechend (wasserdicht, verdrängend) konstruiert ist. Dynamischer (d.h. durch Anströmung besonders geformter Körper erzeugter) Auftrieb wird über Wasser bei Gleit- und Tragflächenschiffen ausgenutzt, in kleinem Rahmen auch bei U-Booten, insbesondere beim Ab-/Auftauchen (allerdings wird hier i.d.R. durch veränderlichen Wasserballast der statische Auftrieb der jeweiligen Tiefe angepasst). Unter Wasser ist es prinzipiell auch möglich, das Gewicht auf den Grund abzustützen, v.a. im Küstenbereich. Für den Antrieb im Wasser wird Wasser nach hinten bewegt, meist durch Propeller, die Gegenkraft drückt das Fahrzeug nach vorn. Für einen Verbrennungsantrieb (Verbrennungsmotor, Turbine) kann über Wasser der Sauerstoff der Umgebungsluft als Oxidator verwendet werden. Unter Wasser wird meist Elektroantrieb verwendet, große

²⁴ Bewegung im Untergrund, die unrealistisch hohe Anforderungen stellen würde (Energieaufwand, Abraumtransport), käme nur für kürzere Strecken in Frage und würde lange Zeit brauchen. Daher wird sie üblicherweise gar nicht erst in Betracht gezogen und auch hier nicht behandelt.

strategische U-Boote benutzen Kernreaktoren. Mögliche Hindernisse sind vor allem der Meeresgrund (bei Überwasserfahrzeugen Untiefen) sowie Küsten, dazu andere Wasserfahrzeuge. Über Wasser (bei U-Booten ist ggf. nur die Antenne über der Oberfläche, auch Einsatz einer Boje ist möglich) ist Funkkommunikation durch die Luft möglich – auf kurze Entfernungen geht das direkt, längere Reichweiten sind möglich durch Relaisstationen auf Luftfahrzeugen und v.a. Kommunikationssatelliten. Unter Wasser ist durch die Leitfähigkeit des (Meer-)Wassers Funkverbindung praktisch unmöglich. Nur extrem niedrige Frequenzen oder blau-grüne Laserstrahlung können bis in geringe Tauchtiefe eindringen. Über kürzere Entfernungen kann akustisch kommuniziert werden.

Da die Wasseroberfläche bzw. das Wasservolumen meist leer sind, kann die Trajektorie weitgehend frei gewählt werden. Mögliche Hindernisse zeigen starken Kontrast gegenüber dem Wasser. Über Wasser können sie auf Sicht (nicht bei Nebel, schwierig bei Dunkelheit) und mittels Radar und unter Wasser mittels Sonar leicht erkannt werden.

1.5.1.3 Luftfahrzeuge

Die Luft hat nur 1/800 der Dichte von Wasser, daher müssen Luftfahrzeuge, die die statische Auftriebskraft ausnutzen, sehr leicht sein und ein Gas noch geringerer Dichte enthalten, wie Ballons und Zeppeline.²⁵ Bei den meisten Luftfahrzeugen wird jedoch die Gewichtskraft durch den dynamischen Auftrieb (d.h. durch Anströmung besonders geformter Körper) erzeugt, bei Starrflüglern durch Tragflächen, bei Hubschraubern durch Drehflügel, bei Flugkörpern zum großen Teil durch den – schräg angestellten – Rumpf, bei schlagenden Flügeln durch die Kombination aus Tragflächen- und Schlagwirkung. Für den Antrieb wird Luft nach hinten bewegt, durch Propeller oder Flügelschlag,²⁶ oder ein Verbrennungsgas wird nach hinten ausgestoßen (Turbine, Raketentriebwerk), die Gegenkraft drückt das Fahrzeug nach vorn. Für einen Verbrennungsantrieb (Verbrennungsmotor, Turbine) kann der Sauerstoff der Umgebungsluft als Oxidator verwendet werden, jedoch sinkt die Luftdichte mit der Höhe, so dass die Antriebe darauf eingestellt werden müssen; die maximal erreichte Höhe mit Luft ansaugenden Triebwerken ist 25-30 km. Mögliche Hindernisse sind vor allem der Boden, insbesondere bei Bergen, und in niedriger Höhe Bäume und Gebäude, dazu andere Luftfahrzeuge. Funkkommunikation ist durch die Luft möglich – auf kurze Entfernungen direkt, für längere Reichweiten nutzt man Relaisstationen auf Land, anderen Luftfahrzeugen und v.a. Kommunikationssatelliten.

²⁵ Fesseldrachen nutzen den dynamischen Auftrieb, der durch die Windströmung entsteht, sind aber weitgehend ortsfest, werden daher hier nicht als Fahrzeuge gezählt.

²⁶ Dazu hat die Flügelsbewegung eine Komponente in Vor-Rück-Richtung.

Da der Luftraum im wesentlichen leer ist, kann die Trajektorie weitgehend frei gewählt werden. Hindernisse in der Luft sind auf Sicht erst bei kurzem Abstand zu erkennen (nicht jedoch bei Nebel oder in Wolken), zeigen deutliche Radarsignale vor leerem Hintergrund und können bei Strahlung von oben, wenn sie sich bewegen, gegen den Erdhintergrund auf Grund der Geschwindigkeits-bedingten Doppler-Frequenzverschiebung gut erkannt werden.

1.5.1.4 Weltraumfahrzeuge

Im Vakuum des Weltraums gibt es keinen Luftauftrieb mehr, weder statisch noch dynamisch. Die Gewichtskraft muss entweder durch den Antrieb (Rakete in der Aufstiegsphase) oder durch die Zentrifugalkraft (Satellit auf Umlaufbahn) ausgeglichen werden.²⁷ Außerhalb des Fahrzeugs ist kein Medium vorhanden, das nach hinten bewegt werden könnte, mitgeführtes Material muss ausgestoßen werden (Raketentriebwerk), damit die Gegenkraft das Fahrzeug nach vorn drückt. Ist die Bahngeschwindigkeit von 3-8 km/s erreicht (Artilleriegeschosse erreichen um 1 km/s),²⁸ ist kein weiterer Antrieb nötig, wohl aber dann, wenn der Bewegungszustand geändert werden soll; Steuerung mittels Klappen, die das umgebende Medium umlenken, funktioniert nicht. (Da es im niedrigen Umlauf noch eine gewisse Widerstandskraft durch das Restgas gibt, sinkt die Bahn langsam ab und muss – soll das Weltraumfahrzeug nicht in die Atmosphäre eintreten und verglühen – durch Antrieb ab und zu wieder angehoben werden.) Das auszustoßende Material muss mitgenommen werden; wenn es durch Verbrennung beschleunigt wird, muss auch ein Sauerstoffträger an Bord sein. Die Nutzlast ist nur ein kleiner Teil der Startmasse, typisch liegt sie um 1 %, daher ist Transport in den Weltraum sehr teuer. Wegen der hohen erforderlichen Geschwindigkeit brauchen Bahnmanöver erhebliche Mengen an Treibstoff, so dass es dafür klare Grenzen gibt – kurzfristiges Ausweichen vor einem sich nähernden anderen Weltraumobjekt ist fast ausgeschlossen. Mögliche Hindernisse sind nur andere Raumfahrzeuge sowie Weltraummüll.²⁹ Funkkommunikation ist durch den leeren Raum bzw. die Luft möglich – direkt zu den „in Sicht“ befindlichen Bodenstationen, indirekt über Relaisatelliten oder bodengestützte Kommunikationsverbindungen. Da der Weltraum im wesentlichen leer ist, kann die Trajektorie weitgehend frei gewählt werden, sie muss nur jederzeit genügend hoch über der Atmosphäre verlaufen, da diese die

²⁷ Die Zentrifugalkraft ist eine Scheinkraft im mit dem Satelliten bewegten System; physikalisch richtiger ist die Beschreibung, dass die Gewichtskraft den Satelliten ständig von der geraden Bahn ablenkt und so die gekrümmte Umlaufbahn hervorruft.

²⁸ 8 km/s gelten in niedriger, kreisförmiger Umlaufbahn (einige 100 km Höhe), 3 km/s in geostationärer (36.000 km Höhe). Zusätzlich muss die Rakete gegen die Schwerkraft auf die Zielhöhe gehoben werden.

²⁹ Meteoriten sind sehr selten, andere Himmelskörper sind erst bei Verlassen der Erdumlaufbahn relevant.

Geschwindigkeit abbremst.³⁰ Jedoch gibt es im Ring der geostationären Positionen (in 36.000 km Höhe über dem Äquator, wo ein Umlauf genau 24 Stunden dauert), einen Engpass. Mögliche Hindernisse können vor dem leeren Weltraum etwa durch Infrarot erfasst werden, das geht jedoch erst bei kurzem Abstand, was wegen der hohen Geschwindigkeiten zu spät sein kann. Radar braucht viel Energie. Daher werden mögliche Kollisionen bisher dadurch vermieden, dass alle Weltraumobjekte (über einer gewissen Größe) von Radars am Boden aus erfasst werden und dann ggf. präventiv Bahnmanöver veranlasst werden, was durch die vorhersagbaren Trajektorien ermöglicht wird.

Insgesamt stellt der Weltraum also einen Sonderfall dar.

Tabelle 1-3 Eigenschaften der Medien mit Folgerungen für Fahrzeuge darauf/darin

	Land	See	Luft	Weltraum
Dichte/(kg/m ³)	(2-8)·10 ³	10 ³	1,2 (h = 0 m) 0,41 (h = 10 km) 0,09 (h = 20 km)	< 10 ⁻⁸
Gewichtskraft ausgleichen	Boden, Straße	Auftrieb statisch, z.T. dynamisch ggf. Grund	Auftrieb statisch (leichter als Luft) Auftrieb dynamisch	Zentrifugalkraft, Geschwindigkeit einige km/s
Oxidator für Verbrennungsantrieb	aus Umgebungsluft	aus Umgebungsluft (über Wasser) keiner (unter Wasser)	aus Umgebungsluft	mitnehmen
Kommunikation	Funk, bei Abschattung durch Hindernisse oder Erdkrümmung mittels Relaisstationen (Boden, Luft, Weltraum)	über Wasser/aufgetaucht: Funk, ggf. mittels Relaisstationen Luft, Weltraum unter Wasser, nur geringe Tiefe: Funk sehr niedrige Frequenzen, blau-grüne Laser	Funk (bei Abschattung durch Hindernisse oder Erdkrümmung mittels Relaisstationen (Boden, Luft, Weltraum))	Funk (zu Bodenstation „in Sicht“, sonst mittels Relais)
Hindernisse	viele, viele Arten, Erkennen extrem schwierig	wenige, wenige Arten, Erkennen einfach	wenige, wenige Arten, Erkennen einfach	wenige, wenige Arten, Erkennen einfach, durch Bodenstation

1.5.2 Kategorien von UMS

Bei der Kategorisierung von UMS (s. Abschnitt 1.4) ist das vielleicht wichtigste Kriterium das Medium, auf/in dem sich das Fahrzeug bewegen kann. Für die Diskussion der verschiedenen Fähigkeitsforderungen nennt die UMS Roadmap des US-Verteidigungsministeriums je nach Medium verschiedene Klassen (Tabelle 1-4).

³⁰ Die Mindesthöhe für einen Umlauf ist 150-200 km.

Tabelle 1-4 Aufteilung der UMS für Land, See und Luft gemäß der UMS Roadmap des US-Verteidigungsministeriums (Weltraum kommt dort nicht vor)

Medium/Fahrzeugart – Kriterium	Klasse	Definition
<i>Land</i> (UGV)	für Kompanie	-
– militärische Ebene	für Brigade-Kampfteams	-
	für Division	-
<i>Wasser</i> (UUV, USV ähnlich)	Personen-tragbar	11 bis 46 kg
– Verdrängung	leicht	etwa 220 kg, nominell 0,33 m Durchmesser
	schwer	etwa 1.400 kg, 0,53 m Durchmesser, schließt U-Boot-kompatible Fahrzeuge ein
	groß	etwa 10 Tonnen, kompatibel sowohl mit Überwasser-schiffen als auch U-Booten
<i>Luft</i> (UAV)	klein	unter 25 kg
– Bruttostartmasse,	taktisch	25 kg bis 600 kg
Funktion	Kriegsschauplatz	über 600 kg
	Kampf	über 600 kg, als Angriffsplattform konstruiert, mit internen Bombenschächten oder externen Waffenaufhängungen und hoher Überlebensfähigkeit

Quelle: Department of Defense, 2007: S. 20-22.

Tabelle 1-5 Relativ weit aufgegliederte Kategorien von UAV-Systemen (UVS International)³¹

UAS-Kategorie	Reichweite / km	Flughöhe / m	max. Flugdauer / h	Max. Startmasse / kg
Micro	< 10	250	1	< 5
Mini	< 10	150-300	< 2	< 30 (150)
Close Range	10-30	3.000	2-4	150
Short Range	30-70	3.000	3-6	200
Medium Range	70-200	5.000	6-10	1.250
Medium Range Endurance	> 500	8.000	10-18	1.250
Low Altitude Deep Penetration	> 250	50-9.000	0,5-1	350
Low Altitude Long Endurance	> 500	3.000	24-48	< 30
Medium Altitude Long Endurance	> 500	14.000	24-48	1.500
High Altitude Long Endurance	> 2.000	20.000	24-48	(4.500) 12.000

Am weitesten ausdifferenziert sind bisher die Luftfahrzeuge, Tabelle 1-5 zeigt eine Einteilung mit einer Mischung aus Größe, Reichweite und Funktion. Die verwendeten Kategorien sind nicht statisch, sie reflektieren das jeweilige Nutzungsspektrum. Eine gebräuchliche, einfachere Klassifizierung ist die folgende:

- große Flughöhe, lange Flugdauer (High Altitude Long Endurance, HALE – über 15 km, mehr als 24 h, bisher nur Global Hawk und Predator-B der USA),
- mittlere Höhen und lange Dauer (Medium Altitude Long Endurance, MALE – 5-15 km, ab 24 h, u.a. Predator der USA),

³¹ Nach van Blyenburgh, 2007: S. 158; dort wird HALE als strategisch, alle anderen werden als taktisch bezeichnet. Unter „Sonderzwecke“ werden zusätzlich aufgelistet: Kampfflugzeuge, tödliche, Attrappen, stratosphärische, exo-stratosphärische und Weltraum-Systeme.

- taktische Systeme für geringere Höhe und Ausdauer (Tactical Unmanned Aerial Vehicle, TUAV),
- Mini-UAV (MUAV) von nur einigen Kilogramm, nur lokal eingesetzt,
- Kleinstflugzeuge (auch Micro Aerial Vehicle, MAV), nur lokal eingesetzt.

Tabelle 1-6 gibt einen Eindruck vom breiten UMS-Spektrum anhand willkürlich ausgewählter Beispiele eingeführter oder in Entwicklung befindlicher militärischer unbemannter Fahrzeuge. Daneben gibt es Sonderformen, die z.T. noch im Stadium von Forschung oder Technologieentwicklung sind, z.B. auf Land schreitende Roboter, in der Luft Flügel schlagende Klein(st)-UAV, unter Wasser schlängelnde Klein(st)roboter. Auch mittels implantierter Elektroden gesteuerte Kleintiere sind perspektivisch möglich.³²

Tabelle 1-6 Ausgewählte militärische UMS mit ihren Haupteigenschaften

Fahrzeug/ System	Zweck	Größe / Masse	Vortrieb / Antrieb	Nutzlast	Reichweite, max. Einsatz- dauer	Bemerkungen
<i>Land</i>						
Army Robotic Vehicle (ARV) ^a	Aufklärung, Kampf	4,5 m 8,4 Mg	Rad (2*3) Diesel/ hybrid	Sensoren, Kanone, Flugkörper, MG	400 km	für FCS, Stationierung 2015 vorgesehen
Man-Trans-portable Robot System MK 2 Mod 0 (Talon) ^a	Bomben-entschärfung	0,84 m 75 kg	Kette elektrisch	4,5 kg	200 m / 800 m 4 h	Hunderte im Einsatz
Tactical Robot Rheinmetall Defence ^b	Sicherheit Feldlager, Transport, "Maultier"		Rad (2*4) Diesel			unbemannt/ be- mannt, fernge- steuert/autonom Prototyp
Small Unmanned Ground Vehicle ^a	Aufklärung Tunnel, Höh- len, städti- sches Gelände	0,61 m < 14 kg	Kette elektrisch	2,8 kg	6 h	Prototyp, > 1200 sollen beschafft werden
<i>Wasser</i>						
Remote Environ-mental Monitoring UnitS ^e	Messungen unter Wasser, Minensuche	1,60 m 37 kg	Propeller elektrisch		22 h	Ursprünglich f. Forschung modular Geschw. 9 km/h max. Tiefe 100 m
Spartan ^a	Motorboot f. Aufklärung, Präzisions- schlag, U- Boot-Bekämp- fung	11 m 1.600 kg	elektrisch		17 km 8 h	Technologie- Demonstration
<i>Luft</i>						
CL-289 ^c	Aufklärung		Strahltur- bine		170 km	im Einsatz Geschw. 740

³² Beispiele geben Altmann, 2001: Section 4.2 und Altmann, 2006: Section 4.1.

						km/h max. Höhe 3.000 m
ALADIN ^d	Aufklärung		Klapp- propeller elektrisch		5 km 30 Min.	im Einsatz
RQ-4B Global Hawk ^a	Aufklärung	Länge 14,5 m Spann- weite 39,9 m 14.600 kg	Strahltur- bine	1.360 kg	10.000 km 28 h	im Einsatz Geschw. 650 km/h max. Höhe 18,3 km weltweite Kom- munikation über INMARSAT
MQ-9 Reaper (früher Pre- dator-B) ^a	Bekämpfung zeitkritischer Ziele, Aufklärung	Länge 11,05 m Spann- weite 20,1 m 4.800 kg	Turboprop	1.700 kg	3.065 km 24 h	im Einsatz Geschw. 425 km/h max. Höhe 15,2 km Waffen 4*230 kg oder 10*110 kg
UCAS-D (X- 47B) ^a	Demonstrator, Sensoren, Bomben	Länge 11,6 m Spannwei- te 18,9 m 21.000 kg	Strahltur- bine	2.040 kg	3.000 km 9 h	Erstflug 2010 geplant Geschw. 850 km/h max. Höhe 12 km
<i>Weltraum</i>						
SAR-Lupe ^f	Aufklärung	4 m 770 kg	-		global 10 Jahre	5 Radarsat., 2008 vollständig 500 km Höhe
Milstar ^g	Kommunika- tion	4.500 kg	-		global 10 Jahre	im Einsatz 5 Sat., geosyn- chron (36.000 km Höhe)
Orbital Express – ASTRO ^h	Reparatur/ Manipulation	1,8 m 920 kg	Raketen- düsen		(Test 3 Monate)	Technologie- Demonstration 2007 490 km Höhe

a Department of Defense, 2007

c Deutsches Heer, 2007

e ONR, 2008

g Air Force, 2007

b Rheinmetall, 2008

d Deutsches Heer, 2008

f BWB, 2008; OHB, 2008

h DARPA, 2007

1.5.3 Verbreitung, Einsatz, Entwicklung

Von den UMS im engeren Sinn sind nur UAS schon breit eingeführt. Sie werden in 48 Ländern von 312 Institutionen hergestellt bzw. entwickelt, 20 Länder exportieren UAS (Tabelle 1-7); eine Zusammenstellung von 2007 nennt 789 Typen.³³ Tabelle 1-8 zeigt die Einteilung nach dem allgemeinen Verwendungszweck; es zeigt sich, dass der weit überwiegende Anteil militärische bzw. Dual-Use-Systeme sind. Zählt man alle Forschungsflugzeuge als zivil (was

für einige Typen wahrscheinlich nicht zutrifft), ergibt sich, dass nur etwa 13% (7,7%+5,8%) der Typen rein zivil genutzt werden (zu den zivilen Anwendungen s. Abschnitt 3.2.2). Wegen der groben Klassifizierung können die Zahlen nur als Anhaltswerte dienen.

Tabelle 1-7 Hersteller- und Exportländer unbemannter Flugzeuge mit der Anzahl in Entwicklung befindlicher oder hergestellter Typen. Eine detailliertere Darstellung (mit Entwicklung, Nutzung und MTCR-Mitgliedschaft gibt Tabelle 3-4.

Land	Anzahl Typen	Export	Land	Anzahl Typen	Export	Land	Anzahl Typen	Export
USA	288	X	Türkei	8		Kolumbien	2	
Israel	62	X	Norwegen	7		Neuseeland	2	
Frankreich	56	X	Niederlande	7		Österreich	2	X
Großbritannien	45	X	Taiwan	7		Rumänien	2	
Russland	35	X	Iran	6	X	Tunesien	2	
International ^a	34		Ver. Arab.Em.	6		Argentinien	1	X
Deutschland	31	X	Brasilien	4		Belgien	1	
Pakistan	23	X	Kanada	4	X	Bulgarien	1	X
China	20	X	Polen	4	X	Chile	1	
Italien	19	X	Schweden	4	X	Finnland	1	
Australien	18	X	Serbien	4		Griechenland	1	
Japan	15	X	Indien	3		Malaysia	1	
Schweiz	9	X	Jordanien	3		Tschechien	1	
Singapur	9		Kroatien	3		Ungarn	1	
Spanien	9		Mexiko	3		Slowenien	1	
Südafrika	9	X	Portugal	3				
Südkorea	8		Ukraine	3		Summe	789	20

Quelle: van Blyenburgh, 2007: S. 161.

a Projekte in Zusammenarbeit zwischen mehreren Ländern, z.B. Rustam/Pawan/Gagan (Indien/Israel), Neuron (Frankreich/Belgien/Griechenland/Italien/Schweiz/Spanien), EuroHawk (USA/Deutschland), Hunter (USA/Israel,) van Blyenburgh, 2007: S. 168, 170; Jane's, 2007.

Tabelle 1-8 Klassen von unbemannten Flugzeuge mit den jeweiligen Anzahlen von Typen, nach der summarischen Klassifikation in der Tabelle von UVS International.³⁴ Dabei gibt es Doppelnennungen, v.a. die Kategorie „in Entwicklung“ trifft oft zusammen mit anderen zu, daher ist die Summe größer als die Gesamtzahl der Tabelleneinträge von 789. Die Anteile beziehen sich auf diese Gesamtzahl.

Klasse	Anzahl Typen	Anteil in %
Zivil/kommerziell	61	7,7
Militärisch	491	62,2
Dual Use	117	14,8
Forschungsflugzeuge	46	5,8
Entwicklungsflugzeuge	269	34,1

117 von 789 UAS-Typen sind im Dienst bzw. laufen zu, 119 sind zu Ende entwickelt und marktfähig. Die meisten UAS-Typen sind für kurze Reichweiten, es gibt nur wenige mit langer Flugdauer und mittlerer oder großer Flughöhe (Tabelle 1-9).

³³ van Blyenburgh, 2007: S. 160.

³⁴ van Blyenburgh, 2007: S. 163.

Tabelle 1-9 Anzahlen von UAS-Typen (in Entwicklung oder hergestellt) in den Kategorien von Tabelle 1-5 ³⁵

UAS-Kategorie	Anzahl Typen
Micro	50
Mini	220
Close Range	113
Short Range	108
Medium Range	160
Medium Range Endurance	25
Low Altitude Deep Penetration	12
Low Altitude Long Endurance	4
Medium Altitude Long Endurance	30
High Altitude Long Endurance	35

UAS wurden und werden bei vielen militärischen Einsätzen im Ausland eingesetzt, seit 1993 durch Streitkräfte von 12 Ländern in 13 Regionen (Tabelle 1-10).

Tabelle 1-10 Auslandseinsätze militärischer UAS

Zeitraum	Region	Streitkraft/Betreiber
1993-1996	Bosnien	Frankreich, UN, USA
1998-1999	Kosovo	Frankreich, Deutschland, Großbritannien, USA
2001	Australien	USA
2002	Djibuti/Jemen	USA
2003	Osttimor	Australien
2003	Solomon-Inseln	Australien
2003	Südkorea	USA
2004	Elfenbeinküste	örtliche Regierung
2005	Kosovo	Belgien
2006	Dem. Rep. Kongo	Belgien
2006	Libanon	Frankreich
2001-heute	Afghanistan	Kanada, Frankreich, Deutschland, Niederlande, Ver. Arabische Emirate, Großbritannien, USA
2003-heute	Angola	Ölgesellschaft
2003-heute	Irak	Australien, Italien, Japan, Rumänien, Großbritannien, USA

Quelle: van Blyenburgh, 2007: S. 187. Israelische Einsätze in den besetzten Gebieten und Nachbarländern werden nicht aufgelistet. Die Quelle gibt nur den UAV-Typen und den Hersteller/Dienstleister an, keine weiteren Einzelheiten. 2001 z.B. flog der Global Hawk von den USA nach Australien, um dort an gemeinsamen Übungen und Erprobungen teilzunehmen, Nelson, 2001. 2004 hat die israelische Firma Aeronautics während des Bürgerkriegs in der Elfenbeinküste zugunsten der Regierung Aerostar-UAVs eingesetzt, Nkrumah, 2004.

Die überwiegende Mehrheit der militärischen UAS wird für Aufklärungszwecke genutzt. Die Tendenz zur Bewaffnung beginnt sich erst abzuzeichnen. Gegenwärtig verfügen vor allem die USA und Israel über bewaffnete UAV. ³⁶ Tabelle 1-11 zeigt gegenwärtig eingeführte Kampf-UAV. Viele weitere sind in der Entwicklung; nicht immer als unmanned combat aerial

³⁵ van Blyenburgh, 2007: S. 162. In den hier nicht aufgenommenen Kategorien sind: UCAV 21, stratosphärische UAS: 3, exoatmosphärische UAS: 3.

³⁶ Die Liste der UVS International nennt unter den 789 Einträgen 21 UCAVs, darunter eine Reihe von früheren Entwicklungsstufen in den USA, und vermerkt 8 UAS als „offensiv“, jedoch nicht als UCAV. Dazu haben 2 „UCAR“ (unmanned combat aerial rotorcraft, unbemannte Kampfhubschrauber) als Systembezeichnung, van Blyenburgh, 2007: S. 164-186. Wegen solcher und anderer Unstimmigkeiten können diese Zahlen nicht als exakt genommen werden.

vehicle (UCAV) oder nicht einmal als UAV bezeichnet – manchmal werden sie Präzisionsflugkörper, manchmal Marschflugkörper genannt –, aber wenn ein unbemanntes Flugzeug über einem Zielgebiet kreist und dort Ziele sucht, ist die Bezeichnung UCAV oder bewaffnetes UAV angemessen.³⁷ Viele weitere zielsuchende Kampf-UAVs sind in Entwicklung, in Deutschland etwa Tares (früher Taifun, Rheinmetall) mit einer Panzer brechenden Hohlladung, als Thunder gemeinsam mit der US-Firma Teledyne Brown für das Future Combat System (FCS, s. Abschnitt 2.4.1) entwickelt. In den USA wäre u.a. das LOCAAS (Low-Cost Autonomous Attack System) zu nennen, das während einer halben Stunde Flugzeit Bodenziele suchen und zerstören soll.³⁸

Tabelle 1-11 Einige gegenwärtig eingeführte oder marktfähige bewaffnete UAV

<i>USA</i>	
MQ-1 Predator (General Atomics)	2 AGM-114 Hellfire-Lenkflugkörper (46 kg)
MQ-1C Sky Warrior (General Atomics)	2 Aufhängepunkte für 110 kg, 2 für 220 kg
MQ-5B Hunter (Northrop Grumman)	Viper Strike (gelenkte Gleitmunitie), BLU 108 (Sensor-gezündete Submunition)
MQ-9 Reaper (General Atomics)	4 * 220 kg oder 10 * 110 kg
<i>Israel</i>	
Harpy (IAI) ^a	Sucht Radarstellungen, autonomer Angriff, 32 kg Explosivkopf
CUTLASS (IAI mit Raytheon USA)	Basis Harpy, sucht v.a. Luftabwehrstellungen, Angriff nach Bestätigung durch Bediener, 16 kg Gefechtskopf
Delilah (IMI mit Brunswick Defense USA)	Sucht Bodenziele, Angriff nach Bestätigung durch Bediener, 30 kg Explosionsgefechtskopf
<i>Iran</i>	
HESA Ababil-T ^b	45 kg Explosionsgefechtskopf

Quellen: Department of Defense, 2007: App. A.1; Jane's, 2007; van Blyenburgh, 2007: S. 164 ff.; <http://www.defense-update.com/directory/cutlass.htm> (8. 5. 2008).

a Exportiert u.a. nach China, Indien, Südkorea, Spanien, Türkei, Jane's, 2007: S. 93 f.

b 8 Exemplare wurden an die Hisbollah (Libanon) exportiert (Mirsad-1); je eines drang im November 2004, April 2005 und August 2006 in den israelischen Luftraum ein, mindestens zwei wurden abgeschossen, Jane's, 2007: S. 75 f.

UCAV, die von Anfang an als Kampfflugzeuge geplant sind und in 10-15 Jahren eingeführt werden könnten, sind ebenfalls in einer Reihe von Ländern in Entwicklung; hier sind u.a. zu nennen

- Unmanned Combat Aircraft System – Carrier Demonstration (UCAS-D oder X-47B) (Northrop-Grumman), USA;
- nEuron (Dassault u.a.), Frankreich, Schweden, Griechenland, Schweiz, Spanien, Italien;
- Barracuda (EADS), Deutschland;

³⁷ Entsprechend wurden einige auch in die UAS-Liste in UVS International, 2007: S. 164 ff, sowie in Jane's, 2007, aufgenommen

³⁸ Jane's, 2007.

- Corax/Raven (BAE Systems), Großbritannien;
- Skat (MiG), Russland.

Insgesamt steht die Entwicklung von UCAVs noch am Anfang, so dass sie im Prinzip noch präventiv begrenzt werden könnten.

Die Ausgabenplanung für UMS des US-Department of Defense für die nächsten 5 Jahre kann als Indikator für die zukünftige Entwicklung auch in anderen Ländern benutzt werden, wenn keine präventiven Begrenzungen greifen. Während bei UAS FuE weiter auf hohem Niveau bleiben (0,8-1,3 Mrd. \$/Jahr), wird die Beschaffung schon schon 2008 darüber ansteigen und dann bei 1,6-2,0 Mrd. \$/Jahr liegen. Bei UGS werden FuE bis 2011 zwischen 0,13 und 0,22 Mrd. \$/Jahr liegen, die Beschaffung soll ab 2012 ansteigen und 2013 bei 0,48 Mrd. \$ liegen. Bei USS und UUS werden FuE von 0,02 Mio. \$ 2008 stetig auf 0,13 Mrd. \$ 2013 ansteigen, Beschaffung wird verzögert auf 0,025 Mrd. \$ steigen (s. Tabelle 3-2).

Zum Vergleich: Die Forschungs- und Technologie-Ausgaben des deutschen Bundesministeriums der Verteidigung liegen gegenwärtig bei Land-, See- und Luftsystemen bei je 5-6 Mio. € pro Jahr, beim Heer sind für Entwicklung von UAV über die nächsten Jahre etwa 0,28 Mrd. € und für Beschaffung etwa 1,3 Mrd. € eingeplant (s. Abschnitt 2.1.4).

Literatur zu Kapitel 1

- Air Force, 2005: The U.S. Air Force Remotely Piloted Aircraft and Unmanned Aerial Vehicle Strategic Vision, Washington DC: Department of Defense.
- Air Force, 2007: Milstar Satellite Communications System, <http://www.af.mil/factsheets/factsheet.asp?fsID=118> (7. 5. 2008).
- Altmann, J., 2001: Military Uses of Microsystem Technologies – Dangers and Preventive Arms Control, Münster: agenda.
- Altmann, J., 2006: Military Nanotechnology: Potential Applications and Preventive Arms Control, Abingdon/New York: Routledge.
- BWB (Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung), 2008: SAR-Lupe, <http://www.bwb.org/01DB022000000001/vwContentByKey/W26FTE79283INFODE> (7. 5. 2008).
- Clark, R.M., 2000: Uninhabited Combat Aerial Vehicles – Airpower by the People, For the People, But Not with the People, Cadre Paper No. 8, Maxwell Air Force Base AL: Air University Press.
- Committee to Review Army Robotics and Artificial Intelligence, 1987: Army Robotics & Artificial Intelligence, Washington DC: National Academy Press.
- Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations (National Research Council), 2005: Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, Washington DC: National Academies Press.
- DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), 2007: Orbital Express, Fact Sheet, http://www.darpa.mil/orbitalexpress/pdf/oe_fact_sheet_final.pdf (7. 5. 2008).
- Department of Defense, 2007: UMS Roadmap 2007-2032, Washington DC: US Department of Defense.
- Department of the Navy, 2007: USV Master Plan, <http://www.navy.mil/navydata/technology/usvmppr.pdf> (30. 3. 2008).
- Deutsches Heer, 2007: Drohne CL-289, http://www.deutschesheer.de/portal/a/heer/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLd483N3YBSYGYZu7m-pEwsaCUVH1fj_zcVH1v_QD9gtyIckdHRUUAKNuj-A!!/delta/base64xml/L3dJdyEvd0ZNQUFzQUMvNElVRS82X0dfNzNG (10. 4. 2007).
- Deutsches Heer, 2008: Weitere Informationen Aufklärungsdrohne ALADIN, http://www.deutschesheer.de/portal/a/heer/kcxml/04_Sj9SPykssy0xPLMnMz0vM0Y_QjzKLNzSLtzB0BslB2Rb6kZiiBs5IokEpqfre-r4e-bmp-gH6BbmhEeWOjooAL_Mma

- w!!/delta/base64xml/L2dJQSEvUUt3QS80SVVFLzZfMTZfOEtU?yw_contentURL=/C1256F870054206E/W26A6AH5366INFODE/content.jsp (27. 2. 2008).
- DGLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt), 2007: S3.1 Unmanned Aerial Vehicles (UAV), http://www.s3.dglr.de/s31_unmanned_aerial_vehicles_uav/index.html (22. 1. 2008).
- Diehl, 2008: Munition – SMarT 155 mm, <http://www.diehl-bgt-defence.de/index.php?id=562> (27. 5. 2008).
- Gage, D.W., 1995: UGV History 101: A Brief History of Unmanned Ground Vehicle (UGV) Development Efforts, *Unmanned Systems Magazine*, vol. 13, no. 3.
- Hall, S.L., 1978: Weapons Choices and Advanced Technology: The RPV, *Peace Studies Program Occasional Paper no. 10*, Ithaca NY: Cornell University, 1978.
- Jane's, 2007: Jane's Unmanned Vehicles and Aerial Targets, Coulsdon: Jane's.
- Kirby, G., 1972: A History of the Torpedo The Early Days, first published in *Journal of the Royal Navy Scientific Service* 27(1), <http://www.btinternet.com/~philipr/torps.htm> (9. 5. 2008).
- Nagel, H.-H., 2008: Zeitfenster Stand der Autonomie und Mustererkennung am Beispiel des EUREKAK-Projekts Prometheus PRO-ART (1986-1994), S. 35 f. in Reuse, B., Vollmar, R. (Hg.), *Informatikforschung in Deutschland*, Berlin usw.: Springer.
- NATO (North Atlantic Treaty Organisation), 2008: NATO Glossary of Terms and Definitions (Englisch and French), AAP-06, <http://www.nato.int/docu/stanag/aap006/aap-6-2008.pdf> (14. 5. 2008).
- Nelson, B. (Parliamentary Secretary to the Australian Minister of Defence), 2001: Aviation history as Global Hawk completes US-Australia flight, 24 April 2001, <http://www.minister.defence.gov.au/Nelsontpl.cfm?CurrentId=628> (28. 7. 2008).
- Newcome, L.R., 2004: *Unmanned Aviation: A Brief History of Unmanned Aerial Vehicles*, Reston VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
- Nkrumah, G., 2004: Ivorians bite the bullet, *Al-Ahram Weekly Online*, No. 718, 25 November - 1 December 2004, <http://weekly.ahram.org.eg/2004/718/in2.htm> (28. 7. 2008).
- OHB System, 2008: SAR-Lupe – Das innovative Programm zur satellitengestützten Radar-aufklärung, <http://www.ohb-system.de/pdf/sar-lupe-broschure.pdf> (7. 5. 2008).
- ONR (Office of Naval Research), 2008: REMUS, <http://www.onr.navy.mil/media/extra/fact%5Fsheets/remus.pdf> (30. 3. 2008).
- OSD (Office of the Secretary of Defense), 2004: *Airspace Integration Plan For Unmanned Aviation*, Washington DC: Department of Defense, 2004.

- OSD (Office of the Secretary of Defense), 2005: Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2005 – 2030, Washington DC: Department of Defense, 2005, http://www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap2005.pdf (12. 2. 2007).
- Rheinmetall, 2008: Team Information (M-ELROB 2008), <http://www.fgan.de/~elrob2006/MELROB/2008/files/rde.pdf> (20. 3. 2008).
- Sullivan, J.M., 2006: Evolution or Revolution? The Rise of UAVs, IEEE Technology and Society Magazine, vol. 25, no. 3, 43-49, Fall 2006.
- van Blyenburgh, P. (ed.), 2007: UAS – Unmanned Aircraft Systems – The Global Perspective 2007/2008, Paris: Blyenburgh & Co.
- von Randow, G., 1997: Roboter – unsere nächsten Verwandten, Reinbek: Rowohlt.
- Vorträge, 1942: Sonderprobleme der Fernlenkung, Vorträge gehalten auf der Arbeitstagung am 5. Nov. 1942, Schriftenreihe der Deutschen Akademie der Luftfahrtforschung 1054/42, Berlin: Deutsche Akademie der Luftfahrtforschung, Geheime Kommando-sache.

2 Stand und Perspektiven von Forschung und Entwicklung bei den kritischen Technologiefeldern unbemannter Systeme (Modul 2)

2.1 Angestrebte Fähigkeiten und FuE-Aktivitäten

Das Militär verspricht sich von UMS eine Reihe von Vorteilen, insbesondere bei Einsätzen, die langweilig, schmutzig oder gefährlich („dull, dirty, dangerous“)³⁹ sind. UMS müssen nicht nach 8 oder 12 Stunden abgelöst werden, können in eine radioaktive Verseuchung geschickt werden oder Operationen ausführen, bei denen für Menschen ein zu hohes Verlustrisiko besteht. Bevor diese Idealvorstellung breit erfüllt werden kann, müssen noch viele Herausforderungen in Forschung und Entwicklung (FuE) gelöst werden. Dazu gehören u.a. sichere Kommunikation und autonomes Verhalten, insbesondere auch in einer Gefechtssituation. Während Luftfahrzeuge für Aufklärung schon routinemäßig eingesetzt werden, ist selbständiges Fahren auf Land, v.a. im Gelände, noch nicht zuverlässig möglich. Andere Herausforderungen liegen bei der Bewaffnung, wo sichere Handhabung und v.a. die Zielauswahl Probleme darstellen. Grundlagenprobleme unbemannter oder autonomer Systeme werden in ziviler Forschung bearbeitet, in den USA mit erheblichem Anteil militärischer Finanzierung. Angewandte Forschung und Entwicklung für militärische UMS finden v.a. in militärischen Institutionen und der Industrie statt. Für die ungehinderte Nutzung von UAS durch die Streitkräfte ist es zentral, dass (militärische) UAS am normalen Luftverkehr teilnehmen dürfen und nicht auf komplizierte Ausnahmeregelungen angewiesen sind. Daher sind dieser Integration besondere FuE-Bemühungen gewidmet.

Die ausgefeiltesten Beschreibungen der angestrebten Fähigkeiten militärischer UMS und der dafür nötigen FuE-Aktivitäten liegen für die USA vor, daher stützt sich dieser Abschnitt vor allem auf Literatur aus den USA und für die US-Streitkräfte.⁴⁰

2.1.1 Angestrebte Fähigkeiten von militärischen UMS⁴¹

Einmal im Jahr stellen die zentralen Befehlshaber⁴² der US-Streitkräfte Listen der Fähigkeitslücken auf, die nach Prioritätenlisten sortiert sind. Zur Ausarbeitung des zentralen Fahrplans

³⁹ Z.B. OSD, 2005: S. 1.

⁴⁰ Zu den entsprechenden Zielen und Aktivitäten der Bundeswehr s. die parallelen Gutachten zu Modul 1 von Rheinmetall/DFKI und FGAN-FKIE, zu deutscher FuE für UMS s. Abschnitt 3.5.

⁴¹ Department of Defense, 2007: S. 19-24.

für UMS hat das US-Verteidigungsministerium diese Listen zusammen mit den von den Teilstreitkräften festgestellten Lücken sowie den Erfahrungen beim „globalen Krieg gegen den Terror“ ausgewertet. Das ergab insgesamt 99 priorisierte Fähigkeitslücken; von diesen können oder könnten 17 durch UMS abgedeckt werden, darunter 2 der 10 auf den höchsten Rängen.

Diese Prioritäten wurden für die Medien Land, Wasser und Luft aufgeschlüsselt, wobei je nach Medium verschiedene UMS-Unterteilungen verwendet werden. Die detaillierten Tabellen finden sich in Anhang 2-1.

Auf Land, bei UGV, wird nach den drei militärischen Ebenen Kompanie, Brigade-Kampfteams und Division unterschieden. 11 Fähigkeitslücken wurden identifiziert. Aufklärung, Minensuche/Gegenmaßnahmen und Präzisionszielortung und -bezeichnung stehen durchweg auf den obersten Rängen, dann folgen Aufklärung von chemischen, biologischen, radiologischen, nuklearen und Explosivstoffbedrohungen (CBRNE), Bewaffnung/Kampf und Gefechtsmanagement. Kommunikation/Datenrelais, Funkaufklärung u.a. stehen auf den hintersten Plätzen.

Fahrzeuge auf und unter Wasser, USV und UUV, wurden in vier Größenklassen nach ihrer Verdrängung eingeteilt: Personen-tragbar: 11 bis 46 kg; leicht: etwa 220 kg; schwer: etwa 1.400 kg; groß: etwa 10 Tonnen.⁴³ Bei den 17 Fähigkeitslücken stehen auch hier Nachrichtengewinnung/Aufklärung und Minengegenmaßnahmen ganz oben, aber an 2. Stelle steht die marinespezifische Aufgaben von Inspektion/Identifizierung. Auf den weiteren Rängen folgen das Abliefern von Nutzlasten, die CBRNE-Aufklärung, das verdeckte Einbringen von Sensoren und die Überwasser-Kriegführung im Küstenbereich. Kampf und Kommunikations-/Navigationsknoten stehen auf mittleren Plätzen, dann folgen u.a. U-Boot-Bekämpfung und Informationsoperationen.

Luftfahrzeuge (UAV) wurden in drei Kategorien verschiedener Größen und in Kampfflugzeuge eingeteilt: klein: Startmasse unter 25 kg, taktisch: 25 bis 600 kg, für den Kriegsschauplatz und Kampfflugzeug: über 600 kg). Unter den 18 Lücken liegt auch hier Aufklärung an der Spitze, dann folgen Präzisionszielortung und -bezeichnung, Funkaufklärung und

⁴² Dies sind die Befehlshaber der Unified Combatant Commands, die mindestens zwei Teilstreitkräfte umfassen; gegenwärtig haben die US-Streitkräfte 5 regionale und 4 funktionale Combatant Commands.

⁴³ Da USV-Klassen noch nicht definiert waren, wurden für die UMS Roadmap (erschien Dez. 2007) die Klassen von UUV benutzt, aber USV-Einsatzbereiche und -Größen wurden berücksichtigt. Der schon im Juli 2007 erschienene, aber anscheinend noch nicht berücksichtigte USV Master Plan nennt vier grob ähnliche Klassen: X-Class (< 3 m, billig, f. Spezialzwecke), Harbor Class (7 m, starr-aufblasbar, v.a. Aufklärung/m. Kanone), Snorkeler Class (Halbtaucher, v.a. gegen Minen), Fleet Class (11 m, nicht aufblasbar, v.a. f. U-Boot- und Minen-Bekämpfung), Department of the Navy, 2007.

Gefechtsmanagement. Die nächsten Positionen sind Kommunikation/Datenrelais, CBRNE-Aufklärung, Kampf-Such- und Rettungsdienst und Bewaffnung/Kampf. Auf mittleren Rängen stehen elektronische Kriegsführung, Minensuche/Gegenmaßnahmen und Maßnahmen gegen Tarnen/Verbergen/Attrappen. Auf den hinteren Plätzen stehen Versorgung von Spezialkräften, GPS-Ergänzungssender und Unterwasserkriegsführung im Küstenbereich.

Da Satelliten vom US-Verteidigungsministerium bisher nicht unter UMS gezählt werden, werden für sie in der UMS Roadmap keine militärischen Einsatzbereiche oder Fähigkeitslücken angegeben. Diese wurden aber mit den Technologien im Space Technology Guide 2000 dargestellt.⁴⁴

Über alle Befehlshaber und Teilstreitkräfte hinweg ergaben sich folgende gemeinsame Hauptaufgaben:

- Aufklärung – mit einem gewissen Grad an „Verdecktheit“ sowie mit Standardisierung und Interoperabilität,
- Zielidentifizierung und –bezeichnung, einschließlich Unterwasserinspektion von Schiffsrümpfen und Anlegestellen,
- Kriegsführung gegen Minen auf Land und auf See, einschließlich Bekämpfung improvisierter Sprengmittel,
- Aufklärung von chemischen, biologischen, radiologischen, nuklearen und Explosiv-Stoffen.

2.1.2 FuE-Aktivitäten in den USA

Mit dem Ziel, die angestrebten Fähigkeiten in Zukunft verfügbar zu haben, werden von verschiedenen Institutionen des US-Verteidigungsministeriums auf breiter Front UMS-FuE betrieben oder gefördert. Daneben gibt es Aktivitäten, v.a. für UAV, beim Department of Homeland Security sowie einer Reihe weiterer ziviler Ministerien bzw. Agenturen.

2.1.2.1 Department of Defense

Im Department of Defense selbst haben sich eine Reihe von *Studien* mit UMS befasst.⁴⁵ Der 2005 Quadrennial Defense Review (2006) gab einige, v.a. allgemeine, Empfehlungen. Die Joint Unmanned Aircraft Systems Standards Study betonte die Wichtigkeit der Standardisierung für Interoperabilität und gemeinsamen Kampf der Teilstreitkräfte. Die Unmanned Air Systems Requirements Study soll die Anforderungen für luftgestützte Nachrichtengewinnung,

⁴⁴ Department of Defense, 2000. Die Inhalte wurden in Altmann, 2002, wiedergegeben, daher wird hier auf eine Darstellung verzichtet.

⁴⁵ Department of Defense, 2007: Abschnitt 5.1.1.

Überwachung und Aufklärung auf den neuesten Stand bringen. Die Studie des Office of Naval Research über die Roles of Unmanned Vehicles (2002/3) betrachtete den Bedarf der Marine und schloss, welche Konzepte die größten Verbesserungen bringen würden. 2005 wurde sein Programm Future Naval Capability an das Konzept Sea Power 21 der Marine angepasst. Die Studie Joint Ground Robotics Enterprise soll Konzepte für gemeinsame Steuerung untersuchen. Die Unmanned Systems Safety Precepts Policy Study soll Richtlinien für die Bestätigung der Sicherheit von UMS erarbeiten.

Auf Bitten der verschiedenen Teilstreitkräfte haben schon seit längerem Ad-hoc-Komitees des National Research Council (NRC) Studien zu UMS angefertigt. Die jüngsten befassten sich mit UAV (2000), UCAV (2000), UGV (2002), autonomen Fahrzeugen zur Unterstützung von Marineoperationen (2005).⁴⁶ Diese Studien betrachteten den technologischen Stand, die militärischen Anforderungen und gaben Empfehlungen für Forschung, Entwicklung und Erprobung. Ihre Ergebnisse sind in die jeweiligen Fahrpläne (roadmaps) eingeflossen.

Eine Reihe von Arbeitsgruppen wurde eingerichtet, Tabelle 2-1. Das 1989 gegründete Joint Robotics Program wurde 2006 in das Joint Ground Robotics Enterprise (JGRE) umgewandelt.⁴⁷ Eine gemeinsame Systemarchitektur (Joint Architecture for Unmanned Systems JAUS) soll Kosten sparen und Entwicklungszeiten verkürzen.⁴⁸

Tabelle 2-1 Arbeitsgruppen zu UMS im US-Verteidigungsministerium

Joint Ground Robotics Enterprise Technical Support Working Group Unmanned Systems Capabilities Conference Joint Architecture for Unmanned Systems Working Group Joint Unmanned Aircraft Systems Material Review Board Joint Unmanned Aircraft System Center of Excellence UAS Airspace Integration Joint Integrated Product Team Navy Unmanned Systems Executive Steering Group Joint Government/Industry Unmanned Systems Safety Initiatives	2006 modifiziert in der Interdepartmental Group on Terrorism jährlich, seit 2004 seit 1998 Arbeit wird durch UAS Task Force forgesetzt ab 2007 seit 2005 Workshops 2005, 2006
---	--

Quelle: Department of Defense 2007: S. 27 ff.

Bei den militärischen Forschungseinrichtungen arbeitet das *Air Force Research Laboratory* (AFRL) u.a. für die Einsatzbereiche dauerhafte Nachrichtengewinnung, Überwachung und Aufklärung, globaler Schlag, Aufklärung und Schlag in Städten, Jäger, Strahlenwaffen, Munition und elektronischer Angriff, Tabelle 2-2.

⁴⁶ Committee on Materials, 2000; Committee on the Review, 2000; Committee, 2002; Committee, 2005.

⁴⁷ <http://www.jointrobotics.com/> (7. 4. 2008) und dort verfügbare zentrale Dokumente.

⁴⁸ <http://www.jauswg.org/> (7. 4. 2008) und dort verfügbare zentrale Dokumente.

Tabelle 2-2 UMS-FuE-Bereiche des Air Force Research Laboratory

Flugmanagement vieler UAS UAS-Simulator-Trainingsmethoden Sensorpakete und Zielerkennung Antrieb und Energie Autonome Flugführung und Navigation Adaptive Steuerung Kooperative Steuerung Sichere Operation auf Flugbasen und im Luftraum Effiziente Aerodynamik	Bezahlbare Strukturen Bediener- und Aufsichts-Schnittstellen Datenverbindungen Luftbetankung Kommunikation Netzwerke Kooperativer elektronischer Angriff Materialien, Elektronik, Komponenten für leichtere Sensorlasten UGV
--	---

Quellen: Department of Defense 2007: S. 30 f.; <http://www.wpafb.af.mil> (7. 4. 2008).

Das Office of Naval Research (ONR) mit seiner zentralen Einrichtung, dem *Naval Research Laboratory* (NRL), arbeitet an vielen Aspekten von UMS, Tabelle 2-3.

Tabelle 2-3 Frühere und laufende UMS-Projekte des Naval Research Laboratory

Remote Environmental Monitoring UnitS (REMUS) Seafox Coyote RoboLobster	UUV f. Messungen und Minensuche (1,6 m) USV (Schlauchboot f. Patrouillen, 5 m) Klein-UAS (keramisch, 6 kg) amphibischer Roboter ("Hummer" mit 8 Beinen)
--	--

Quellen: Department of Defense 2007: S. 31-33; <http://www.nrl.navy.mil> (7. 4. 2008).

Das *Army Research Laboratory* (ARL) macht Grundlagen- und angewandte Forschung in vielen Bereichen der Robotik, u.a. in intelligenter Steuerung, Maschinenwahrnehmung, Mensch-Maschine-Wechselwirkung, Mechanik und Antrieb. Viel an Technologie wurde und wird für Landfahrzeuge des Future Combat System (FCS, s. Abschnitt 2.4.1) entwickelt. Tabelle 2-4 gibt FuE-Bereiche an.

Tabelle 2-4 UMS-FuE-Bereiche des Army Research Laboratory

Primärer autonomer Bewegungssensor Wahrnehmungs- und Planungsalgorithmen Mensch-Maschine-Schnittstelle Fortgeschrittene Wahrnehmung, Planung und Steuerung, Mensch-Roboter-Schnittstelle Soldaten-Roboter-Teams Skalierungsanforderungen für Roboter-Schnittstellen Adaptive Automatisierung Kleinst-Land- und Luftfahrzeuge	für FCS-UGVs für FCS, MDARS für FCS, MDARS für FCS für FCS für FCS für FCS
---	--

Quellen: Department of Defense 2007: S. 30 f.; <http://www.arl.army.mil> (7. 4. 2008).

FCS: Future Combat System MDARS: Mobile Detection Assessment and Response System (zur Überwachung von Lagerhäusern und Grundstücken)

Die Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) fördert seit Jahrzehnten viele Aspekte, z.B. Sehen, Software für verteilte Robotik, Wahrnehmung für Geländerobotik und ist in einige aktuelle Entwicklungsprogramme eingebunden. Viele Programme werden zusammen mit einer Teilstreitkraft durchgeführt, etwa Future Combat System (FCS) mit der Army

(s. Abschnitt 2.4.1). Schwerpunkte liegen einerseits bei einzelnen Plattformen, andererseits bei Autonomie und Robustheit von Robotern (Tabelle 2-5).

Tabelle 2-5 Frühere und aktuelle UMS-FuE-Bereiche der Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA)

Predator (eingeführt)	unbemanntes Aufklärungsflugzeug, MALE
Global Hawk (eingeführt)	unbemanntes Aufklärungsflugzeug, HALE
Future Combat System	Großprojekt der Army
Big Dog	vierbeiniges UGV zum Last-Tragen
Rhex	sechsbeiniges Gelände-UGV
Cormorant	UAV für Start von U-Boot/Meeresoberfläche
A160 Hummingbird	unbemannter Hubschrauber für ISR, bis 20 h
Oblique Flying Wing	Überschall-UAV mit schrägem Flügel
Organic Air Vehicle	UAV (49 kg, mit ummanteltem Vertikalpropeller) für FCS
RQ-16 micro air vehicle (eingeführt)	Klein-UAV (7 kg, ummantelter Vertikalpropeller 33 cm)
Unmanned Ground Combat Vehicle/PerceptOR Integration	autonome Navigation im Gelände
Grand/Urban Challenge	Wettbewerbe für autonome UGV in Halbwüste bzw. Stadt

Quellen: Department of Defense, 2007: S. 34-36; DARPA, 2007, Suchen bei <http://www.darpa.mil>.

ISR: Intelligence, Surveillance, Reconnaissance (Nachrichtengewinnung, Überwachung, Aufklärung)

Das *Space and Naval Warfare Systems Center* (SPAWAR), San Diego, hat seit den frühen 1960er Jahren Roboterforschung und –entwicklung betrieben. Eine Abteilung bearbeitet Luft- und Landroboter, die andere Unterwasserroboter. 2002 wurde es vom Verteidigungsministerium als Center of Excellence for Small Robots benannt.⁴⁹

Weitere Zentren im Militärbereich sind

- das *Telemedicine and Advanced Technology Research Center* (TATRC) des U.S. Army Medical Research and Materiel Command (USAMRMC), es arbeitet an UGV und UAV für den Transport von Verwundeten, für Evakuierung, medizinische Logistik und Gesundheitsschutz der Streitkräfte.⁵⁰
- das Marine Corps Warfighting Laboratory (MCWL) und
- das National Center for Defense Robotics (NCDR).⁵¹

2.1.2.2 Andere Ministerien

Das *Department of Homeland Security* (DHS) hat seit seiner Gründung (Nov. 2002) UAV als wichtige Technik betrachtet, hat Demonstrationen und Erprobungen durchgeführt. Anwendungen zur Grenzsicherheit, für die Küstenwache, für die kritische Infrastruktur und den

⁴⁹ SPAWAR, 2007.

⁵⁰ Department of Defense, 2007: S. 33; <http://www.tatrc.org/> (7. 4. 2008).

⁵¹ <http://www.mcwl.quantico.usmc.mil/>; <http://www.techcollaborative.org/default.aspx?id=NCDR> (7. 4. 2008).

Transport von Gefahrstoffen wurden studiert.⁵² Nach zunächst hohen Erwartungen wurde die Rolle von UMS bei der Grenzüberwachung heruntergestuft, s. Abschnitt 3.3.3.

Im *Department of Transportation* befasst sich die Federal Aviation Administration (FAA) in wachsendem Maß mit der Zulassung von UAS, Ende 2005 wurde ein Unmanned Aircraft Program Office (UAPO) eingerichtet.⁵³ 2006 wurden über 100 Certificates of Authorization (Genehmigungen für eine Einzelaktivität mit UAS) für Flüge staatlicher UAS erteilt, für 2010 werden über 400 erwartet. Seit 2005 wurden 5 experimentelle Special Airworthiness Certificates für zivile Flugzeuge erteilt, für 2010 werden über 40 erwartet. Ein Fahrplan für UAS (unmanned aviation roadmap) ist in Arbeit.⁵⁴

Im *Department of the Interior* wollen der Geological Survey und der Forest Service UAS nutzen. Der Minerals Management Service entwickelt und erprobt mit der Marine autonome UUV zur Unterwasser-Inspektion.

Im *Department of Commerce* erprobt die National Oceanographic and Atmosphere Administration zusammen mit der National Air and Space Administration (NASA) UAS zum Messen von Meeres- und Atmosphärendaten.

Die NASA hat eine lange Tradition unbemannter Flugzeuge. Z.B. wurden für UAS verschiedene automatische „sense-and-avoid“-Verfahren untersucht und neue Antriebsarten demonstriert; ein Höhenrekord für Propellerflugzeuge wurde aufgestellt. Ein anderer Schwerpunkt war der rechtliche Weg zu Routineflügen von UAS im nationalen Luftraum. Heute unterhält die NASA eine kleine Flotte von UAS, die für Forschungsaufgaben gemietet werden können. Die vielen unbemannten Weltraummissionen der NASA werden in der UMS Roadmap – der eigenen UMS-Definition folgend, die Satelliten ausschließt – nicht erwähnt.

2.1.3 Ausgaben für UMS

Die Gesamtausgaben des Department of Defense für UMS sollen von 2,7 Mrd. \$ im Haushaltsjahr (FY) 2007 auf 3,6 Mrd. \$ im FY 2013 steigen. Darin erhalten UAS mit 1,5 bis 2,4 Mrd. \$ pro Jahr den größten Anteil, dann folgen UGS mit etwa 0,5 Mrd. \$, USS/UUS liegen mit 0,05 bis 0,16 Mrd. \$ am Ende (s. Tabelle 3-2). Der jeweilige Stand spiegelt sich in den Anteilen, die für Forschung und Entwicklung, für Beschaffung sowie für Betrieb und Wartung angesetzt sind. Bei Luftsystemen bleiben FuE auf hohem Niveau (0,8-1,2 Mrd. \$), die schon jetzt hohen Beschaffungsausgaben sollen von 0,9 über 2,0 auf 1,6 Mrd. \$ steigen. Bei

⁵² Department of Defense 2007: S. 37-39; <http://www.dhs.gov> (7. 4. 2008).

⁵³ Department of Defense 2007: S. 39; <http://www.faa.gov/uas> (8. 4. 2008).

Landsystemen sollen die FuE-Ausgaben von 0,2 auf 0,02 Mrd. \$ verringert werden, die Beschaffung (heute 0,1 Mrd \$/Jahr) soll nach Verringerung auf 0,02 Mrd. \$/Jahr ab FY 2012 auf 0,2 und dann 0,5 Mrd. ansteigen. Bei Wassersystemen sollen FuE von heute 0,04 Mrd. \$/Jahr ab FY 2010 ansteigen, auf 0,13 Mrd. \$/Jahr, während die Beschaffung von heute 0,002 Mrd. \$ ab 2011 auf 0,04-0,03 Mrd. \$/Jahr anwachsen soll.

Vergleicht man die Ausgaben für Beschaffung von UMS mit denen für Fahrzeuge insgesamt (Tabelle 2-6), zeigt sich, dass UGS für viele Jahre nur ein sehr geringen Teil ausmachen werden. Auf und unter Wasser werden die unbemannten Systeme fast vernachlässigbare Kosten bilden. Selbst bei UAS relativieren sich die Beschaffungsausgaben von bis zu 2 Mrd. \$ pro Jahr, wenn man sie mit den Gesamtausgaben für Flugzeuge vergleicht, die gegenwärtig bei 30 Mrd. \$/Jahr liegen.

Tabelle 2-6 Ausgaben des US-Verteidigungsministeriums für Beschaffung von Land-, Wasser- und Luft-UMS sowie für entsprechende Fahrzeuge insgesamt, in Mio. \$ (Landfahrzeuge: Army, Schiffe: Navy, Flugzeuge: alle drei Teilstreitkräfte, Anteile etwa Army 15%, Navy 36%, Air Force 46%)

Art	FY 06	FY07	FY08	FY09	FY10	FY11	FY12	FY13
UGS		106,5	39,3	29,7	18,3	17,9	156,3	481,5
Gepanzerte und Unterstützungsfahrzeuge ⁵⁵	6.473,7	10.643	6.707,9					
USS/UUS		1,7	2,7	3,2	4,8	40,8	25,0	25,1
Schiffbau, -umwandlung	11.370,1	10.536,6	13.656,1					
UAS		878,4	1.370,3	2.025,1	2.010,5	1.725,7	1.750,8	1.585,7
Flugzeuge gesamt	26.770,5	29.715,8	29.320,9					

Quellen: Department of Defense, 2007 (f. UMS, s. auch Tabelle 3-2); Department of Defense, 2007a (f. Gesamtausgaben).

FY: Fiscal Year

2.1.4 FuE-Aktivitäten in Deutschland

Bundesministerium der Verteidigung

Gemäß seiner Rolle als Hauptnutzer von UMS (bisher praktisch nur UAV) ist das *Bundesministerium der Verteidigung* auch bei UMS-FuE der Hauptakteur in Deutschland. Für Forschung und Technologie wendet es gegenwärtig jährlich jeweils 4-6 Mio. € für Land-, Unterwasser- und Luft-UMS auf (Tabelle 2-7). Für Entwicklung und Beschaffung von Aufklärungs-UAS sind beim Heer etwa 0,28 bzw. 1,3 Mrd. € über mehrere Jahre eingeplant (bei

⁵⁴ Im Mai 2007 wurde angegeben, die Veröffentlichung sei verschoben, bis Juni 2008 lag sie noch nicht vor, FAA, 2007.

⁵⁵ Ohne die Kategorie „Weapons and Other Combat Vehicles“, die auch Geschütze, Maschinengewehre usw. enthält.

Land- und Wasser-UMS sowie bei Marine und Luftwaffe sind diese Stadien offensichtlich noch nicht erreicht).⁵⁶

In vielen deutschen FuE-Institutionen gibt es UMS-Aktivitäten, sie werden in Abschnitt 3.5 beschrieben. Weitere wichtige Akteure sind die im UMS-Bereich tätigen Unternehmen, sie sind in Anhang 3-2 dargestellt.

Tabelle 2-7 UMS-Ausgaben des Bundesministeriums der Verteidigung

Bereich	Forschungs- und Technologie-Aufwendungen
Robotik (Land)	6,8 Mio. €/Jahr
Unmanned Underwater Vehicles (See)	6,2 Mio. €/Jahr
Unmanned Aerial Vehicles (Luft)	4,6 Mio. €/Jahr
Bereich	Ausgaben
Entwicklung Aufklärungsdrohnen Heer	knapp 280 Mio. € über mehrere Jahre
Beschaffung Aufklärungsdrohnen Heer	etwa 1,3 Mrd. € über mehrere Jahre

Quelle: Schreiben des Bundesministeriums der Verteidigung (Rü IV 1) vom 26. 5. 2008.

Tabelle 2-8 Mitglieder sowie ständige Partner und Gäste der UAV DACH

Mitglieder	
<i>Deutschland:</i> Autoflug GmbH, Diehl-BGT GmbH, DFS GmbH, DLR e.V., EADS Deutschland GmbH, EMT Penz- berg, ESG GmbH, IABG mbH, OHB-Systems AG, Stemme UMS, Rheinmetall Defence Electronics GmbH	<i>Niederlande:</i> ADSE, NLR <i>Österreich:</i> Schiebel Elektronische Geräte GmbH <i>Schweiz:</i> RUAG Aerospace, Swiss UAV
Ständige Partner und Gäste	
AustroControl, BDLI, Bundesamt für Zivilluftfahrt der Schweiz, Bundesverkehrsministerium, Bundesverteidi- gungsministerium (Rü V 3, BWB), EASA, FGAN, JAA, Luftfahrt-Bundesamt, SWP, Universitäten, WTD 61/ML, Vereinigung Cockpit u.a.	

Quellen: http://www.uavdach.org/Mitglieder/intro_mitgl.htm, http://www.uavdach.org/Home/uav_dach.htm (21. 5. 2008).

BDLI: Bundesverband der deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie

BWB: Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung DFS: Deutsche Flugsicherung

DLR: Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt EASA: European Aviation Safety Agency

FGAN: Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften

JAA: Joint Aviation Authorities (of Europe)

NLR: Niederländisches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

SWP: Stiftung Wissenschaft und Politik

WTD: Wehrtechnische Dienststelle

UAV DACH

Bei UAV, dem am weitesten vorangeschrittenen Bereich, haben sich die interessierten Institutionen aus den Ländern Deutschland, Niederlande, Österreich und Schweiz zur *UAV DACH*, der deutschsprachigen Arbeitsgruppe für Unbemannte Luftfahrzeuge, zusammengeschlossen, ständige Partner und Gäste kommen u.a. aus Behörden (Tabelle 2-8).⁵⁷ Der Hauptzweck der Arbeitsgruppe, die Einführung von UAVs in den zivilen Luftraum, geht zwar über FuE

⁵⁶ Genauere Informationen über die Ausgaben und –planung sind in den geheimen Erläuterungen des Bundeshaushaltes für die Abgeordneten des Verteidigungsausschusses zugänglich.

hinaus, enthält aber bei Themen wie Zulassung und Zertifizierbarkeit von Technologien oder Erkennen und Ausweichen viele FuE-Komponenten. Die UAV DACH ist das zentrale Koordinationsgremium für diese Bemühungen in den teilnehmenden Ländern; ihre Untergruppen arbeiten eng mit den für Luftverkehr zuständigen europäischen Behörden und anderen Institutionen zusammen.

Deutsche Flugsicherung

Die *Deutsche Flugsicherung* (DFS) führt seit 2003 mit Partnern Echtzeitsimulationen des Betriebs von UAV im normalen Luftraum durch, die von militärischen Einrichtungen in Auftrag gegeben wurden (Projekte WASLA/HALE II, III).⁵⁸ Weitere Projekte (VUSIL, gefördert vom Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, INOUI, gefördert durch die Europäische Kommission) sollen auch Flugversuche einbeziehen.⁵⁹ Ein Projekt zur automatischen Rückführung eines (gekaperten) Flugzeugs auf einen Landeplatz (SOFIA, Europäische Kommission) ist auch für UAV relevant. Die Deutsche Flugsicherung (DFS) hat auch einen Projektauftrag für die Integration des EuroHawk (s. unten).⁶⁰ Es geht um Sicherheitsanalyse und -bewertung sowie um Forschung. Im Normalbetrieb gibt es keine Probleme – der Bediener in der Bodenstation ist wie ein Pilot an Bord verantwortlich und hält Sprechfunkkontakt mit der Flugverkehrssteuerung (Air Traffic Control ATC). Schwierigkeiten gibt es, wenn die Datenverbindung abreißt und das Flugzeug autonom fliegen muss. Technisch geht das, bis hin zur Landung. Gelöst werden muss das Problem, andere Flugzeuge zu erkennen und ihnen auszuweichen (s. Abschnitt 2.4.2). Im Einsatz fliegt der Euro-/Global Hawk in der Flugfläche 650 (Höhe 65.000 feet, 20 km), die sonst nicht benutzt wird, aber bei Start und Landung kreuzt er normalen Luftverkehrsraum.

Wichtige Entwicklungs- und Beschaffungsprojekte

Die Bundeswehr will mehrere Überwachungs-UAV EuroHawk beschaffen, die von der eigens gegründeten Eurohawk GmbH (Northrup-Grumman mit EADS) auf der Basis des Global Hawk entwickelt werden.⁶¹ Die US-Firma trägt das Fluggerät bei, EADS die Sensorik für elektronische und Kommunikationsaufklärung – hier liegt der Hauptunterschied zum Global Hawk der US-Luftwaffe, der bildgebende Sensoren trägt. Bis 2010 soll ein Demonstratorsystem entwickelt und gebaut werden, das dann die Breguet-Flugzeuge bei der elektronischen

⁵⁷ <http://www.uavdach.org> (21. 5. 2008), Prospekt UAV DACH, Ausgabe 2, Sept. 2006.

⁵⁸ Udovic, 2003, 2007.

⁵⁹ S. auch Baumann, 2007.

⁶⁰ A. Udovic, DFS, Telefoninterview, 30. 3. 2007.

⁶¹ EADS, 2007; BWB, 2007.

Aufklärung ablösen soll. Der EuroHawk soll jeweils in Deutschland starten, in das Einsatzgebiet (z.B. Afghanistan) fliegen, dort etwa 1 Tag lang aufklären, nach Deutschland zurückkehren und hier wieder landen. Bis 2014 sollen weitere vier Systeme beschafft werden.

Für die bildgebende Aufklärung hat das Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung 2008 eine Ausschreibung für MALE-UAVs gestartet.⁶² Im Rahmen des Systems für die Abbildende Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebiets (SAATEG) sollen fünf UAS beschafft werden, die je ein UAV, verschiedene Nutzlasten und Kommunikationsverbindungen und zwei bewegliche Bodenkontrollstationen enthalten. Die Luftwaffe soll die Systeme für alle Teilstreitkräfte betreiben. General Atomics will sich mit dem Predator B bewerben, Israel Aerospace Industries mit dem Heron-TP.

Vor allem mit Eigenmitteln entwickelt EADS das UCAV *Barracuda*, einen Technologiedemonstrator für ein weitreichendes unbemanntes Flugzeug, das Aufklärung betreiben, später aber auch bewaffnet werden soll.⁶³ Es wird mit Düsen angetrieben, hat eine Spannweite von über 7 m und eine Startmasse von mindestens 3 Tonnen. Der Erstflug fand im April 2006 statt, im September 2006 stürzte die Maschine vor Spanien ins Meer. Ende 2007 wurde entschieden, dass ein zweites Exemplar gebaut werden soll.

2.1.5 FuE-Aktivitäten im internationalen Bereich, in anderen Ländern

Auch in anderen Ländern und der Europäischen Union sind fast alle UMS-Aktivitäten den UAS gewidmet, und hier bildet ebenfalls die Integration in den normalen Luftverkehr den Schwerpunkt, mit dem Militär als vorgesehenem frühen und Haupt-Nutzer (s. Abschnitt 2.4.2).

Europa

Eurocontrol hat eine Arbeitsgruppe für die Einbindung unbemannter militärischer Flugzeuge eingerichtet, an der auch die NATO und die USA teilnehmen.⁶⁴ Sie hat allgemeine Spezifikationen entwickelt, die den Regeln für bemannte Flugzeuge nachempfunden sind; sie wurden 2006 einem öffentlichen Beratungsprozess unterzogen und verändert und sollen den 37 Mitgliedsstaaten für die nationale Regelung empfohlen werden. Für zivile UAS wird an längerfristigen Lösungen im Rahmen eines zukünftigen Luftverkehrssystems gearbeitet, koordiniert mit anderen internationalen Akteuren.

⁶² Wall, 2008.

⁶³ EADS, 2005, 2006; Schwarz 2006; Tran 2006; air-attack, 2007; Mahon, 2008.

⁶⁴ Sultana/Strong, 2007; van Doorn/Brochard, 2007; Eurocontrol, 2008.

Die European Aviation Safety Agency (EASA), zuständig für Lufttüchtigkeit, Umweltschutz an der Quelle und Wartung, hat 2005/2006 einen Beratungsprozess durchgeführt.⁶⁵ Das Ergebnis ist eine Politik für die Zertifizierung von UAV (über 150 kg). Sie wird mit interessierten Institutionen diskutiert und soll dann veröffentlicht werden.

Die European Organisation for Civil Aviation Equipment (EuroCAE) hat 2006 eine Working Group 73 zu UAV eingerichtet.⁶⁶ Sie soll die Situation erfassen, ein Konzept für die Zertifizierung und den Betrieb erstellen und Anforderungen an Führung, Steuerung und Kommunikation (einschließlich autonomen Betriebs) sowie an Systeme zum Erkennen und Ausweichen aufstellen.

Die European Defence Agency (EDA) sieht UAV als wichtigen Teil der zukünftigen Europäischen Sicherheits- und Verteidigungspolitik und legt einen Schwerpunkt auf die Harmonisierung der militärischen UAS der Mitgliedsstaaten.⁶⁷ Seit 2006 hat sie eine Reihe von Studien vergeben, Themen sind u.a. Datenverbindung für UAVs mit großer Ausdauer, Normen, Frequenzuteilung, Erkennen und Ausweichen, eine gemeinsame UAV-Simulationseinrichtung, Anforderungen an die (militärischen und zivilen) UAV-Nutzlasten.

NATO

Bei der NATO sind verschiedene Institutionen mit UMS befasst, zunächst fast ausschließlich mit UAS.⁶⁸ Das Joint Air Power Competence Centre (JAPCC) hat einen "Flight Plan for UAS in NATO" aufgestellt.⁶⁹ Hier werden – nach Dringlichkeit geordnet – 26 Probleme aufgezeigt und Empfehlungen gegeben, wie sie gelöst werden können. Darunter ist die Frage der Bewaffnung von UAV; auch wird darauf verwiesen, dass bisher kein NATO-Forum sich mit gegnerischen UAS und deren Bekämpfung befasst hat. Die Liste der UAS-Einsatzarten umfasst 37 Einträge in vier Kategorien (Kampf, Führung/Kommunikation/Aufklärung, Kampfunterstützung, Unterstützung von Kampfdiensten/zivile Einsätze).

Die Konferenz der nationalen Rüstungsdirektoren hat eine Joint Capability Group on UAVs (JCGUAV) eingerichtet. Sie arbeitet v.a. an der Integration von UAV in den Luftraum, insbesondere kurzfristig für den Flug von MALE-/HALE-UAVs ins Einsatzgebiet.⁷⁰ In der NATO Standardization Agency (NSA) gibt es ein Joint UAV Panel. Die Ziele der JCGUAV sind, UAVs fähiger zu machen, sie schneller einzuführen, Normen für ihren Einsatz zu entwickeln,

⁶⁵ Morier, 2007; EASA, 2008.

⁶⁶ Hawkes, 2007.

⁶⁷ Whitney, 2007; Possel, 2007.

⁶⁸ Hausen, 2007.

⁶⁹ Lewandowski, 2007; JAPCC, 2008.

die Interoperabilität und höhere Autonomie zu fördern, die Dokumentation relevanter Texte zu unterstützen, die Ausreifung der Technologie voranzubringen und Tests und Demonstrationen zu unterstützen. In Bezug auf Bewaffnung von UAV empfiehlt die JCGUAV auf Grund der Erfahrungen in Afghanistan und Irak, vorhandene Aufklärungsplattformen mit vorhandenen Waffen für kurze und mittlere Reichweiten auszurüsten.

Auch die Operations Research Division der NATO Consultation, Command and Control Agency befasst sich mit UAVs. Die NATO C3 Agency arbeitet für verstärkte Autonomie von UAVs und anderen UUVs.⁷¹

Im Bereich der Normung wurden einige Standardization Agreements (STANAGs) erarbeitet. STANAG 4586 legt die Spezifikationen für eine gemeinsame Bodenkontrollstation für UAVs fest, STANAG 4660 regelt eine geschützte Datenverbindung für Führung und Steuerung.

International

Die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation ICAO hat 2008 eine UAS-Studiengruppe eingerichtet, s. Abschnitt 2.4.2.

In verschiedenen Ländern gibt es UAV-Förderorganisationen vergleichbar zur UAV DACH: UAVS Association (Großbritannien),⁷² UVS Canada Association,⁷³ Japan UAV Association,⁷⁴ UVS New Zealand Australia,⁷⁵ Auf internationaler Ebene sind die Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI)⁷⁶ sowie Unmanned Vehicle Systems International (UVS International) aktiv.⁷⁷ Die letztere setzt sich u.a. für eine globale Initiative für den Zugang zum Luftraum für zivile, kommerzielle und militärische unbemannte Flugzeuge ein.⁷⁸

Israel

Mit seiner langen Tradition bei UAV verschiedener Größen, seinen verschiedenen Herstellern und dem aktiven Export gibt es in Israel breite Forschung und v.a. Entwicklung bei UAV, allerdings ist das meiste davon geheim.⁷⁹ Die Finanzierung kommt nicht nur vom Verteidigungsministerium, sondern auch von den Hauptherstellern, Elbit Systems und der Malat-Abteilung von Israel Aerospace Industries. Diese Firmen sowie Zulieferer entwickeln auch

⁷⁰ Snow, 2007.

⁷¹ Soyer, 2007.

⁷² Barnes, 2007.

⁷³ Glenn, 2007.

⁷⁴ Itagaki, 2007.

⁷⁵ Rogers, 2007.

⁷⁶ <http://www.auvsi.org> (21. 5. 2008).

⁷⁷ <http://www.uvs-international.org/>, <http://www.uvs-info.com> (21. 5. 2008); v. Blyenburgh, 2007a.

⁷⁸ v. Blyenburgh, 2007b.

die Nutzlasten, v.a. Sensorsysteme. Neben Hubschraubersystemen wird an Solarversorgung und Brennstoffzellen gearbeitet; längerfristig sollen bemannte Kampfflugzeuge durch U(C)AV abgelöst werden. 2005 wurde ein Vertrag mit Indien abgeschlossen, nach dem beide Länder bei der Entwicklung dreier indischer UAVs zusammenarbeiten wollen.⁸⁰

Russland

Nach Stagnation in den 1990er Jahren wird in Russland inzwischen wieder aktiv an UAV gearbeitet,⁸¹ es gibt mindestens 8 Herstellerfirmen bzw. Konstruktionsbüros für UAV. Man kann davon ausgehen, dass FuE für UAV auch in Luftfahrtinstituten und militärischen Einrichtungen betrieben werden und dass auch an UGV, USV und UUV gearbeitet wird. Detaillierte Informationen zu aktueller FuE sind schwer zu finden, insbesondere im militärischen Bereich. An UAV-Demonstratoren bzw. Entwicklungsprojekten gibt es etwa 20.⁸² Es gibt kleine und große UAVs, mit Propeller- oder Düsenantrieb, sowie Hubschrauber. UCAVs sind bei Yakovlev und MiG in Entwicklung.

China

Über chinesische UMS-FuE ist ebenfalls wenig bekannt. Z.T. auf Grund westlicher Exportbeschränkungen hat China seine eigene Entwicklung verstärkt.⁸³ Westliche Übersichtslisten enthalten 5-10 UAV-Projekte.⁸⁴ Dabei sowie unter den schon eingeführten Typen sind kleine bis große UAV, mit Propeller- oder Düsenantrieb, sowie Trag- und Hubschrauber.⁸⁵

Andere Länder

Mit dem verstärkten Aufkommen von UAS werden Forschung und vor allem Entwicklung in weiteren Ländern zunehmen, z.T. in Zusammenarbeit mit solchen, die schon mehr Erfahrung haben. Das ist besonders bei denen zu erwarten, die in Herstellung und Export schon jetzt aktiver sind, s. Tabelle 1-7.

⁷⁹ Egozi, 2008. Für Artikel zu einzelnen Programmen kann man z.B. bei www.flightglobal.com suchen.

⁸⁰ Raghuvanshi, 2005.

⁸¹ Koldaev/Sokut, 2006; Koldaev, 2007.

⁸² van Blyenburgh, 2007: S. 174-176, nennt 17 Systeme, 5 weitere mit Fragezeichen. Jane's, 2007: S. 148-158, gibt 2 Systeme an, 5 weitere als schon im Einsatz befindlich.

⁸³ Overview, 2006.

⁸⁴ van Blyenburgh, 2007: S. 164, nennt 1 System als in Entwicklung befindlich, 5-7 mit Fragezeichen. Jane's, 2007: S. 20-31, gibt 7 Systeme an, die in Entwicklung sind, z.T. mit Fragezeichen.

⁸⁵ Ein Tragschrauber hat einen waagerechten Rotor für den Auftrieb, der aerodynamisch, durch die waagerechte Bewegung durch die Luft, angetrieben wird. Ein senkrechter Propeller erzeugt den Schub.

2.2 Technologiefelder für Forschung und Entwicklung von UMS

Da die USA bei Breite und Tiefe der FuE für UMS führend sind, werden die Technologiefelder hier v.a. an Hand der US-Planungen und –Studien behandelt. Zunächst werden die Medium- und Teilstreitkräfte-übergreifenden Technologieziele dargestellt. Dann werden auf allgemeiner Ebene Status und Trends in zentralen Technologiebereichen erläutert. Schließlich werden zur Erläuterung der Schwierigkeiten die Probleme und Aussichten für UGV der US Army erläutert.

2.2.1 Übergreifende Technologieziele

Die wohl umfassendste Zusammenstellung von Technologiezielen für militärische UMS enthält die UMS Roadmap. Tabelle 2-9 zeigt diese Ziele, die im Zeitraum 2007 bis 2032 erreicht werden sollen, zusammen mit kurzen Erläuterungen. Wie weit sie erreicht werden können, ist heute nur schwer zu beurteilen.

Tabelle 2-9 Technologieziele des US-Verteidigungsministeriums für unbemannte Systeme mit Stichworten zu deren Erläuterungen

Ziel	Erläuterung
Autonomie	Hauptforschungsgebiet für alle UMS-Arten; minimiert Personal- und Bandbreitenbedarf; viele Aspekte noch am Anfang
Bandbreitenfragen	COTS-Gerät benutzt u.U. nicht akzeptable Frequenzen, ggf. ersetzen
Kognitive Prozesse	UMS-Information muss menschliche Wahrnehmung, Überlegung, Entscheidung unterstützen; menschliche Fähigkeiten in Software nachbilden
Gemeinsame Steuerung	Für viele, verschiedenartige UMS; Training und Logistik minimieren
Kommunikation	Gesichtspunkte: Bandbreite, Entfernung, Entdeckbarkeit, Netzwerk
Kooperatives Verhalten	Krieger, Sensoren, Netzwerke, Befehl und Führung, Plattformen, Waffen integrieren; gemeinsam für Teilstreitkräfte und Koalition; zwischen bemannten und unbemannten Teammitgliedern (einzigartige Herausforderung)
Daten-Schnittstellen	UMS von abgeschlossener Steuerverbindung für das globale Netzwerk öffnen, Internet Protocol; auch als Kommunikationsknoten
Dynamisches Vermeiden von Hindernissen/Störung/Zusammenstoß (einschließlich Menschen)	Unter Beachtung von Verkehr, taktischem Manöver und Auftragserfüllung; Kombination aus Radar, optischen und Infrarot-Sensoren; Bildverarbeitung noch am Anfang. Vermeiden von bedrohenden Systemen (Schiffe, Boote, aktive und so weit wie möglich passive Sensoren)
Mensch-System-Integration in UMS	Menschen für Zielsetzung auf oberer Ebene, Setzen von Einsatzregeln und –beschränkungen; müssen Sensordaten interpretieren, Systeme überwachen, Zeitpläne koordinieren, Ressourcen organisieren, Waffeneinsatz autorisieren; Systeme darauf auslegen: Schnittstellen, Training, Anzahl Bediener
Start und Rückholen	Sicher, anpassungsfähig für Varianten, gemeinsame/portable Schnittstellen, einfach
Energiesysteme	Zentrale Bedeutung; ausgefeiltere Systeme, Größe/Kosten/Signatur minimieren; Faktoren: Geschwindigkeit, Nutzlast, Dauer
Prozessortechnologie	Steigende Anforderungen, letztendliches Ziel menschlichen Bediener ersetzen; optische, biochemische, Quanten-, molekulare Rechner, geringer Energieverbrauch; Herausforderungen: Größe, Kosten
Produktformat	Technologien in Konstruktion umsetzen, gesamtes System betrachten
Zuverlässigkeit	Wichtig für Bezahlbarkeit, Verfügbarkeit und Akzeptanz; von Anfang an

	in Entwicklung einbeziehen; für UAS erste Hürde bzgl. zivilen Luftraums; komplexere und weniger deterministische Software validieren und verifizieren
Sensoren	Wichtig für alle UMS, v.a. für Gefechtsfeldzugang und Überlebensfähigkeit, Minenbekämpfung, Aufklärung und U-Boot-Bekämpfung; verbessern: Flächenabdeckungsrate, Klassifikation und Identifikation, Verfolgung, CBRNE-Sensoren; nicht-akustisch unter Wasser; Herausforderungen: autonome Verarbeitung, Zielerkennung, Zurückweisung von Gegenmaßnahmen, Analyse der Zielbewegung, Taktik
Überlebensfähigkeit	Schlüsselüberlegung bei der Systemauslegung; nicht nur Plattform
Waffen	Hochkontrovers, Herangehen „Kriechen – Gehen – Laufen“; anfänglich u.U. Mensch in der Entscheidungsschleife nötig; beim „Aufhängen“ Sichern aus der Ferne nötig; autonomere Operation mit wachsendem Vertrauen; Herausforderungen: richtige Zielauswahl und –verfolgung, Kommunikation jenseits des Horizonts

Quelle: Department of Defense, 2007: Ch. 6.

COTS: commercial off the shelf (kommerzielle Ware aus dem Regal)

CBRNE: chemische, biologische, radiologische, nukleare, Explosivstoff-Bedrohungen

Drei Bereiche werden als die zentralen technischen Herausforderungen bezeichnet:⁸⁶

- Die wichtigste kurzfristige Herausforderung ist die Fähigkeit, nahe Objekte auf der eigenen Bahn zu bewerten und angemessen auf sie zu reagieren. Für ein Flugzeug erstreckt sich das auf viele Kilometer in allen Richtungen, während das für ein Land- oder Seefahrzeug von einigen Metern bis zu 100 m bedeuten kann.
- Eine vergleichbar „beängstigende Herausforderung“⁸⁷ ist die Sicherung von Steuerverbindungen zu UMS.
- Autonome Roboterarmen oder intelligente Arme, die skalierbar⁸⁸ greifen, drehen, loslassen usw. können, werden für höhere Flexibilität und Wirksamkeit von UGV und UMS benötigt.

Es scheint nicht unplausibel, dass diese Herausforderungen im Zeitraum 2007-2032 gemeistert werden können. Wenn man allerdings einen intelligenten, technisch etwa gleich fähigen Gegner annimmt, kann es in Bezug auf die ersten beiden Bereiche im bewaffneten Konflikt durchaus Zweifel geben: Es kann sein, dass es auf genügend schnelle und intelligente Abfanggeschosse keine angemessene Reaktion mehr geben kann; Steuerverbindungen zu stören, wird mit dem Aufwuchs von UMS hohe Priorität bekommen.

⁸⁶ Department of Defense, 2007: S. 43.

⁸⁷ Im Original: „daunting challenge“; daunting kann auch mit abschreckend, entmutigend, gewaltig übersetzt werden.

⁸⁸ Vermutlich: mit einstellbarer Kraft.

2.2.2 Zentrale Technologiefelder

2.2.2.1 Sensorik⁸⁹

Viele der in militärischen UMS verwendbaren Sensorarten und –technologien sind nicht UMS-spezifisch, und oft kann auf schon eingeführte Technik zurückgegriffen werden. Bei passiven optischen Sensoren werden für Foto- und Videokameras für sichtbares Licht oft kommerzielle Typen verwendet, ggf. an militärische Bedürfnisse angepasst, insbesondere auch durch stabilisierte und dreh-/schwenkbare Aufhängungen. Predator und Hunter werden auf besondere militärische Kameras umgerüstet. Für bewaffnete UAV werden Laserzielbezeichner hinzugefügt. Bei Infrarotkameras, v.a. für Sicht bei Nacht benötigt, sind weiterhin aufwändige Spezialausführungen nötig. Weiterentwicklungen sind vorgesehen in Richtung auf Aufzeichnung vieler spektraler Kanäle (Multi- oder Hyperspektralkameras mit einigen zehn bzw. einigen hundert Kanälen). Sie sollen helfen, Aerosolwolken mit chemischen oder biologischen Agenzien zu erkennen oder Tarnung zu überwinden. Dabei stellt die Variabilität von Beleuchtung und sonstigen Aufnahmebedingungen eine erhebliche Herausforderung dar. Normen des hoch auflösenden Fernsehens (HDTV), wie sie z.B. für digitale Formate und Bildkompression für den zivilen Markt entwickelt werden, sollen durchweg verwendet werden und die Qualität der Bilddaten verbessern.

Als aktiver elektromagnetischer Sensor wird Radar verwendet, das bei größeren Entfernungen, v.a. bei UAV, erhebliche Anforderungen an die Energieversorgung stellt. Für Bildgebung aus der Luft (bzw. aus dem Weltraum) wird Radar mit synthetischer Apertur (SAR) verwendet, bei dem aus den laufend aufgenommen Summenreflexen der am Boden beleuchteten Fläche die Details – mit sehr hohem Rechenaufwand – zurückgerechnet werden. Entwicklung geht zu höherer Auflösung, Änderungsdetektion und zu Frequenzen, die Laub durchdringen können. Mit steigender Rechenleistung werden mehr Berechnungen an Bord durchgeführt werden können, aber Auswertungen in größeren Rechnern am Boden werden weiter erforderlich bleiben, was Übertragung hoher Datenmengen bei hohen Datenraten bedingt. Weitere Entwicklungsziele sind Miniaturisierung und flache, gekrümmte, elektronisch steuerbare Antennen, die auf die Außenhaut von UMS aufgebracht werden können.

Für die allgemeine Bildgebung wird auch Laserradar (LIDAR) entwickelt, das dabei auch noch die Tiefeninformation zum je angestrahlten Objekt liefert. Laserradar funktioniert jedoch nicht bei Nebel, dichtem Regen oder Schneetreiben, so dass weiter offen bleibt, ob es für den Routineeinsatz auf UMS verwendet werden wird.

⁸⁹ OSD, 2005: Ch. 4, App. B; s. auch Department of Defense, 2007: S. 53 f., OUSD, 2005: S. 7-42 ff.

Zur Bestimmung von Zielkoordinaten wird an der Georeferenzierung der gewonnenen Bodenbilder gearbeitet, d.h. sie in Beziehung zum geografischen Koordinatensystem bzw. zu Karten zu setzen.

Laserradar wird ebenfalls erforscht, um Aerosole in bis zu einigen Kilometern zu entdecken und anhand des rückgestreuten Signals frequenz aufgelöst chemische oder biologische Agenzien festzustellen. UMS in/auf Land, Wasser, Luft können auch Proben vor Ort analysieren und dafür Sensoren für nukleare, Explosivstoff-, chemische oder biologische Substanzen tragen; für solche Sensoren laufen unabhängig von UMS viele FuE-Arbeiten, v.a. im Zusammenhang mit der inneren Sicherheit. Auch Kernstrahlungsdektoren zum Nachweis von Nuklearmaterialien sollen entwickelt werden.

Für den Einsatz auf, über und unter Wasser werden Magnetfeldsensoren zum Entdecken von U-Booten und Seeminen (weiter) entwickelt.

Im Bereich Signalaufklärung (SIGINT) geht es v.a. darum, vorhandene Systeme auf UAV zu bringen. Die Air Force entwickelt die Advanced Signals Intelligence Payload; damit sollen sowohl die bemannte U-2 wie das UAV Global Hawk ausgerüstet werden. Systeme, die für das schnelle Einsetzen in bemannte SIGINT-Flugzeuge gebaut wurden, sollen für den Global Hawk eine Zwischenlösung bilden. Die Army entwickelt die skalierbare Tactical SIGINT Payload, die von UAV aus Funksender auf dem Schlachtfeld orten und Hinweise für die genauere Suche mit anderen Sensoren geben soll.

Akustische Sensoren werden v.a. für UUV entwickelt, FuE geht in Richtung auf Sonar mit synthetischer Apertur. Für UGV können Ultraschallsensoren Richtungen und Abstände zu Objekten im Nahbereich bestimmen.

Generelle Entwicklungsziele für UMS-Sensoren sind Verringerung von Größe, Gewicht und Leistungsverbrauch. Perspektivisch sollen Sensorsysteme autonom relevante Objekte suchen und erkennen sowie die Navigation im Schwarm unterstützen. Fernziel ist die Annäherung an menschenähnliche Wahrnehmungsfähigkeiten bei der Aus- und Bewertung der aufgenommenen Information.

Im Bereich der FuE für das Department of Defense sowie das Department of Homeland Security laufen viele Arbeiten für Sensoren ohne Bezug auf UMS – etwa für chemische oder biologische Agenzien. Es ist davon auszugehen, dass solche Sensoren bei Erfolg und Eignung zügig auch in UMS eingesetzt werden.

2.2.2.2 Materialien/Flugzelle⁹⁰

Materialfragen stellen sich v.a. bei UAV. Wie bei bemannten Flugzeugen stehen Aluminium, Titan und Verbundwerkstoffe (z.B. mit Kohlefasern) zur Verfügung. Bei letzteren ist Reparatur problematisch, wenn Fasern unterbrochen sind. FuE gehen in Richtung auf eingebaute Mikrokapseln mit „Leim“, die Risswachstum vermeiden, perspektivisch sollen selbst heilende Werkstoffe den ursprünglichen Zustand wieder herstellen. Andere Ziele sind das „aeroelastische Zuschneiden“, die Gestaltung gerichteter Steifigkeit gegen Vibrationsinstabilität, und die Integration von Mikrosensoren zur Zustandsüberwachung. Diese Themen sind besonders relevant für die Flügel von großen UAV hoher Ausdauer, wo das Gewicht die mögliche Flugdauer direkt beeinflusst.

Am anderen Ende des Spektrums stehen Mini- und Mikro-UAV, wo die FuE-Ziele eher besonders kostengünstige Materialien oder Herstellungsmethoden sind. Bei diesen UAV gibt es durch die geringe Größe und Geschwindigkeit besondere Stabilitätsprobleme, deren Erforschung verstärkt werden soll.

Transgene Biopolymere (etwa Spinnenseide-Eiweiße, die aus der Milch genetisch veränderter Schafe gewonnen werden), sollen extrem leichte, extrem feste, flexible Faserverbundmaterialien für Rumpfhaut oder Verkleidungen erlauben, die auch noch die Signatur verringern. In der Zukunft könnte man damit die Form von Flügeln und Leitwerken verändern und so die verschiedenen Steuerklappen einsparen.⁹¹

2.2.2.3 Antrieb/Energieversorgung⁹²

Die Energieversorgung ist die Basis für alle UMS-Aktivitäten, von der Fortbewegung über die Steuerung zu den Nutzlasten.⁹³ Da die letzteren beiden durchweg elektrisch arbeiten, ist bei anderem Primärtrieb meist ein Generator mit Pufferakkumulator oder eine Batterie vorhanden.

Bei Landfahrzeugen (UGV) kommt die Energie i.d.R. aus den klassischen Verbrennungsmotoren, kleinere Typen werden elektrisch betrieben; ob Elektroantrieb auch für größere Landfahrzeuge in Frage kommt, wird vom Entwicklungsfortschritt bei Speichern und Motoren abhängen.

⁹⁰ Department of Defense, 2007: S. 45, 51 f.; OSD, 2005: S. D-6 f.; Committee on Materials, 2000: S. 50 ff.

⁹¹ Wie realistisch diese Erwartungen sind, ist offen. Bemerkenswert ist, dass Verbundmaterialien mit Kohlenstoffnanoröhrchen trotz deren erheblich höherer erwarteter Zugfestigkeit nicht erwähnt werden.

⁹² Department of Defense, 2007: S. 52 f.; Department of the Navy, 2004: S. 60 ff.; OSD, 2005: S. 52 ff., D-1 - D-5; Committee on Materials, 2000: S. 59-81.

⁹³ Hier werden nur UGV auf Land, auf See, unter Wasser und in der Luft betrachtet; Weltraumfahrzeuge werden ausgeklammert, da für sie spezielle Bedingungen gelten.

Ähnlich ist es bei USV (Überwasserfahrzeugen oder Halbtauchern) mit Zugang zu Luft: Verbrennungsmotoren stehen in vielen Ausführungen zur Verfügung, ob Elektroantrieb praktikabel werden wird, ist unklar.

Bei UUV, die unter Wasser ohne Luftverbrauch fahren müssen, gibt es im Wesentlichen drei Möglichkeiten zur Energieversorgung. Für kleinere UUV sind Lithium-Batterien bzw. Lithiumionen-Akkumulatoren geeignet. Die ersteren haben mit über 0,4 kWh/kg deutlich höhere Energiedichte als die letzteren (bis zu 0,2 kWh/kg), führen aber zu hohen Betriebskosten und – bei größeren Kapazitäten – Problemen mit dem Austausch. Für größere UUV ist hybrider Antrieb (bei über 0,8 kWh/kg) mit Dieselmotor im Schnorchelbetrieb und Lithiumionen-Akkumulatoren für unter Wasser besser, jedoch muss dann der Dieselmotor z.B. nach je 80 Stunden Unterwasserbetrieb 4 Stunden laufen. Die dritte Möglichkeit, die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle, kommt ohne Luftzufuhr aus, ist jedoch noch in Entwicklung und hat mit 0,3 kWh/kg geringere Energiedichte. Während für ein typisches großes UUV mit 1,2 m Durchmesser und 5 Knoten (9 km/h) Geschwindigkeit die Ausdauer mit Brennstoffzelle etwa 220 h beträgt, ist sie bei Hybridantrieb (mit sechsmaligem Schnorcheln) 480 h, entsprechend 4.400 km Reichweite.⁹⁴ Für kleine UUV, die an der Oberfläche als Kommunikationsknoten oder sekundäre Navigationssender arbeiten, kommen auch Solarzellen (mit Akkumulatoren) in Frage.⁹⁵

Bei UAV werden die großen und schnellen mit Düsen angetrieben, mit oder ohne Mantelstrom (turbojet, turbofan), in Zukunft ggf. auch als Staustrahltriebwerk (ramjet). Die mittleren und manche kleine nutzen Verbrennungskolbenmotoren, kleine und kleinste werden elektrisch angetrieben.

Die bei UAV mit Düsenantrieb verwendeten *Turbinen* „von der Stange“ kommen bei Projekten wie Global Hawk und J-UCAS an ihre Grenzen und beschränken die Einsatzmöglichkeiten. Zukünftige UAV werden noch höhere Anforderungen stellen in Bezug auf Treibstoffverbrauch, Schub, Leistungsübertragung, Kosten, kleine Signatur und Toleranz gegenüber Verformung. In der dritten Phase eines seit 1988 laufenden Programms wird ein Konzept für eine Einmal-Turbine (Joint Expendable Turbine Engine Concept, JETEC) entwickelt, deren auf den Schub bezogener spezifischer Treibstoffverbrauch 1/3 unter dem heutigen liegen soll, was bei einem UCAV 35% höheren Kampfradius oder – bei geringerem Zielabstand – entsprechend längere Dauer zum Abwarten oder Suchen nach Zielen bringen würde. Kostenreduktion bei Entwicklung und Herstellung ist ein zentrales Ziel, dazu sollen Komponenten verän-

⁹⁴ 0,44 m³ Volumen für Zuladung, 0,78 kW Motorleistung, Department of the Navy, 2004: S. 62.

⁹⁵ Department of the Navy, 2004: S. 45 ff.

dert und ihre Anzahl verringert werden. Bei JETEC sollen die auf die Schubkraft bezogenen Herstellungskosten fast halbiert werden.⁹⁶

Auch motiviert durch die steigenden Brennstoffkosten soll der spezifische Verbrauch in einem Nachfolgeprogramm (Versatile Affordable Advanced Turbine Engines, VAATE) bis 2017 um weitere 25% gesenkt werden.⁹⁷ Der Quotient von technischer Fähigkeit (zusammengesetzt aus Schub, Gewicht, Verbrauch u.a.) zu Gesamtkosten (Entwicklung, Beschaffung und Wartung) soll um einen Faktor 10 steigen.

Kolbenmotoren werden für UAV bis etwa 1.000 kg eingesetzt, in dieser Größenklasse sind sie leichter und billiger als Turbinen. Jedoch können die bisherigen (Vier- oder Zweitakt-) Benzinmotoren nicht mit dem angestrebten schweren militärischen Einheitstreibstoff betrieben werden. Angestrebt werden einerseits leichtere Dieselmotoren, was mittels Turbolader erreicht werden kann; es sind aber auch leichtere Materialien nötig, die die hohen Zylinderdrücke aushalten können. Andererseits sollen Benzinmotoren so verändert werden, dass sie mit Düsentreibstoff (Kerosin) laufen können.⁹⁸ Beides stellt erhebliche technische Herausforderungen dar. Auch die Verlässlichkeit (bisher einige 100 Stunden) auf die für UAV geforderte Höhe zu bringen, bedeutet eine große Herausforderung.

In kleinen und kleinsten UAV werden i.d.R. *Elektromotoren* für die Propeller verwendet, die aus (Lithium-)Batterien gespeist werden. Ein militärischer Vorteil ist der niedrige Schallpegel, Nachteile sind der geringere Wirkungsgrad und die kleinere spezifische (auf die Masse bezogene) Leistung. Gegenwärtig beträgt die Ausdauer von Kleinst-UAV einen Bruchteil einer Stunde, bei Klein-UAV ist es mehr, weil sie mehr Batterien tragen können. Verbesserungen werden von Brennstoffzellen erwartet, die dann auch für größere UAV verwendet werden könnten. Die auf dem hoch und lange fliegenden Ultraleicht-UAV Helios der NASA⁹⁹ eingesetzten Wasserstoffgas-Zellen erreichten 2003 eine Energiedichte von 0,5 kWh/kg – ein Zweitaktbenzinmotor hat 0,6 kWh/kg, die besten (wieder aufladbaren) Batterien haben 0,22 kWh/kg.¹⁰⁰ Mit flüssigem Wasserstoff lässt sich das noch steigern. Kombiniert man – wie beim Helios-Prototyp – Brennstoffzellen für nachts mit Solarzellen, die tagsüber die Motoren treiben und Wasser elektrolytisch spalten, lässt sich in großer Höhe eine prinzipiell unbe-

⁹⁶ Von 170-200 auf 115 \$/lb (etwa 17 €/Newton), OSD, 2005: S. D-2.

⁹⁷ OSD, 2005: S. D-2 f.; AIAA, 2006; <http://www.pr.af.mil/divisions/prt/vaate/vaate.htm> (25. 4. 2008).

⁹⁸ Die deutsche Thielert-Gruppe liefert Turbodieselmotoren für Cessna- und Piper-Flugzeuge sowie für das US-UAV Predator Warrior, Thielert, 2008; s. auch <http://www.centurion-engines.com/> (25. 4. 2008). Allerdings hat die Tochtergesellschaft Thielert Aircraft Engines GmbH. im April 2008 Insolvenzantrag gestellt, <http://www.thielert.com> (25. 4. 2008).

⁹⁹ Helios bestand nur aus einem Flügel mit 75 m Spannweite und 14 Elektromotoren (Leermasse 600 kg) und flog bis 29,5 km hoch mit 30-43 km/h; der Prototyp stürzte 2003 ab, NASA, 2008.

grenzte Flugdauer erreichen, was für eine Überwachungsstation oder ein Kommunikationsrelais u.U. günstiger sein könnte als Satelliten.¹⁰¹ Jedoch wären solche UAV sehr empfindlich und langsam und könnten – im Gegensatz zu Satelliten – mit größeren Luftabwehrflugkörpern leicht abgeschossen werden.

Einsparung von Treibstoff ist möglich, wenn UAV vertikal starten und landen können und es für ihre Beobachtungsfunktion genügt, wenn sie an einem Ort landen und dort stehen bleiben. Vertikal zu starten und zu landen ist auch für die Marine ein Entwicklungsziel, damit UAV von allen Schiffen aus eingesetzt werden können. Einige Projekte für kleinere UAV nutzen dafür ummantelte Vertikalrotoren.

An alternativen Antrieben für UMS werden supraleitende Elektromotoren erwähnt, jedoch ohne Angabe, wann es die geben kann.¹⁰²

2.2.2.4 Navigation

Navigation hat die Grundaufgaben, die eigene Position zu bestimmen, den Weg zu einem Ziel zu bestimmen und das Fahrzeug auf diesem Weg zu führen. Das wird i.d.R. laufend wiederholt und ggf. an neue Bedingungen angepasst. Für wetter- und tageszeitunabhängige Ortsbestimmung kann man externe Signale verwenden, wobei i.d.R. die Laufzeiten von mehreren Sendern (mit bekannten Orten) benutzt werden. UMS mit freier Sicht auf den Himmel können v.a. das Global Positioning System (GPS) von Navigationssatelliten der USA nutzen. Mittels ortsfester Empfänger, die Abweichungen bestimmen und Korrektursignale aussendet, kann die Ortungsgenauigkeit deutlich verbessert werden (differentielles GPS).

Alternativ können verschiedene Eigenschaften der Umgebung zur Ortsbestimmung dienen, u.a. das Höhenprofil unter der Flugbahn (bzw. unter Wasser das Tiefenprofil) – sog. terrain contour matching –, das Erdmagnetfeld oder das visuelle Bild der Umgebung (sog. scene matching).

Eine vollständig interne Methode ist Trägheitsnavigation, die die während der Bewegung gemessene Beschleunigung zweimal integriert und so – bei bekannten Anfangswerten – über die Geschwindigkeit zum jeweiligen Ort kommt; die Fehler durch Drift müssen ab und zu korrigiert werden.

¹⁰⁰ Die letzte Angabe (220 Wh/kg für „the best batteries“, OSD, 2005: S. D-5) bezieht sich offensichtlich auf wieder aufladbare Lithium-Ionen-Akkumulatoren; einmal verwendbare Lithium-Batterien erreichen etwa die doppelte Energiedichte, s. oben bei UUV.

¹⁰¹ Jedoch wäre der aus 20-30 km Höhe abgedeckte Bereich drastisch kleiner (tausende von km² verglichen mit 100.000 km² bei einem niedrigen Satelliten (500-1000 km Höhe) und 100 Millionen km² bei einem geostationären (36.000 km).

¹⁰² Department of Defense, 2007: S. 47.

Vor allem auf Land tritt als Hauptaufgabe hinzu, Hindernisse zu erkennen und ihnen auszuweichen. Im Gelände muss sichergestellt werden, dass der beabsichtigte Weg auch befahrbar ist. Auf Straßen ist Navigation viel einfacher, wenn die Straße verlässlich erkannt wird. Wenn dann die Geschwindigkeit (etwa über die Radumdrehungsrate) und Richtung (z.B. aus dem Einschlagwinkel von Steuerrädern) ungefähr bestimmt wird, lässt sich der Ort durch Vergleich mit einer gespeicherten Karte laufend aktualisieren. Eine besonders leichte Aufgabe ist die, einem Führungsfahrzeug zu folgen.

Für die Navigation von autonomen UGV müssen Wahrnehmung, Wegplanung, Kommunikation und verschiedene Navigationstechniken integriert werden. Diese Integration vielfacher Systeme ist die größte Technologielücke in UGV-Navigation.¹⁰³

Unter Wasser kann akustische Navigation funktionieren. Von Baken ausgesandte akustische Signale treten an die Stelle von Funksignalen, allerdings bei viel geringeren Frequenzen, so dass der Informationsgehalt auch deutlich geringer ist. Als Reichweiten sind bei einigen 10 Hz Frequenz um 1.000 km möglich, bei Kilohertz bis 100 km.¹⁰⁴

UMS können selbst als Navigationsbaken dienen, vor allem UAV. Unter und über Wasser können Klein-UUV verwendet werden, nach Absetzen (vom Schiff, vom Flugzeug) könnten sie noch einigen 10 km zurücklegen und dann zu festgelegter Zeit einige Stunden lang arbeiten.¹⁰⁵

2.2.2.5 Datenübertragung/Kommunikation¹⁰⁶

Eine der Hauptherausforderungen ist die Integration vieler verschiedener, historisch gewachsener Informationsverarbeitungssysteme. Dazu hat das US-Verteidigungsministerium das Global Information Grid (GIG), seine eigene Version des Internet, entwickelt, in das alle existierenden System eingebunden werden müssen, die Informationen sowohl nutzen als auch bereit stellen. Insbesondere sollen die UMS momentan ungenutzte Kommunikationskapazitäten für das Netzwerk zur Verfügung stellen und als dynamische Netzknoten agieren. Die Netzwerkzentrierung umfasst Regeln für die Nutzung des elektromagnetischen Spektrums und Einhaltung einer Reihe von Normen. Wichtige Bestandteile sind:

- Common Data Link (CDL), Vollduplex-Verbindung, Punkt-zu-Punkt, zeitmultiplex, störsticher, flexibel, 0,2 bis 45 Megabit pro Sekunde aufwärts, 11-270 Mb/s abwärts (zukünftig evtl. bis 1,1 Gb/s), an allgemeiner Interoperabilität wird gearbeitet.

¹⁰³ Committee, 2002: S. 54.

¹⁰⁴ S. den Vorschlag für ein akustisches Navigationssystem für das Nordpolarbecken, Lee/Gobat, 2006.

¹⁰⁵ Department of the Navy, 2004: S. 44.

¹⁰⁶ OSD, 2005: App. C, App. E; s. auch Department of Defense, 2007: S. 50 f.

- Joint Tactical Radio System (JTRS), Software-definierte Funkgeräte, perspektivisch mit selbst-organisiertem Netzwerk.
- Transformational Satellites (TSAT), geosynchrone Satellitenkonstellation, geschützte Signalform, im EHF- und militärischen Ka-Band sowie optisch, soll die bisherigen Systeme zusammenführen und die Weltraumkomponente des GIG werden.
- High Assurance Internet Protocol Encryption (HAIPe), Geräte, die geheime Information nahe der Quelle verschlüsseln, damit sie so über den nicht geheimen Teil des GIG übertragen werden können.
- Defense Information Systems Agency (DISA) metadata registry, wo Metadaten über militärische Dateien zusammengefasst werden sollen.

Weitgehend sollen allgemeine zivile/kommerzielle Protokolle verwendet werden, etwa das IP v6 (mit erweitertem Adressraum) und das Gigabit-(d.i. pro Sekunde)-Ethernet.

Globale Satellitenkommunikation (SATCOM) wird einerseits über die militärischen Satelliten geführt. Schmalbandig (5 und 25 kHz) geht das im UHF-Bereich (0,3-3,0 GHz), breitbandig (bis 155 Mb/s) wird das X-Band (7-12,5 GHz) genutzt. Geschützte Verbindungen haben Datenraten bis 2,4 kb/s bzw. 1,5 Mb/s und nutzen den EHF-Bereich (30-300 GHz), zukünftig auch die militärischen X- und Ka-Bänder (innerhalb 7-12,5 bzw. 18-40 GHz). Aber auch kommerzielle Verbindungen werden genutzt, schmalbandig sind es INMARSAT,¹⁰⁷ Global-Star und Iridium. Kommerzielle Breitbandverbindungen in verschiedenen Bändern reichen bis 155 Mb/s.

Viele Normungsbemühungen laufen, auch im Rahmen der NATO, u.a. für Bild- und andere Sensordaten, Metadaten und Schnittstellen zu UAV.

Alle Nutzlasten wie Kommunikationsrelais, Systeme zur elektronischen Kriegführung oder Waffen sollen über eine netzbasierte Schnittstelle von jedem berechtigten Knoten aus gesteuert werden können. Insbesondere für Waffen ergeben sich besondere Anforderungen:¹⁰⁸ Einerseits können die erhöhten Funksignale die Sicherheit gefährden, andererseits wird ein unabhängiger Pfad zum Schärfen und Sichern benötigt, da kein Pilot mit Hauptsicherungsschalter an Bord ist.

Besondere Anstrengungen gelten der Informationssicherheit, wobei i.d.R. auf allgemeine, zivile Protokolle (wie Secure Socket Layer SSL und Transport Layer Security TLS) aufgesetzt wird. Bei Verschlüsselung nicht geheimer Daten wird der alte Data Encryption Standard benutzt, sonst ein höherer, perspektivisch ist die neue Norm, der Advanced Encryption Stan-

¹⁰⁷ 1979 als internationale Organisation gegründet, wurde Inmarsat 1999 privatisiert und ist nun eine AG.

¹⁰⁸ OSD, 2005: S. 69.

dard, zu verwenden. Nutzer müssen sich für die jeweilige Information authentifizieren, verschiedene Zugriffsebenen müssen verlässlich getrennt gehalten werden.

Einen Eindruck von der gegenwärtigen Arbeitsweise geben die Verbindungen zu Global Hawk und Predator im Afghanistan- und Irakkrieg.¹⁰⁹ Diese UAV werden gesteuert über schmalbandige Verbindungen im UHF-Bereich, in der Nähe per direktem Funk und in großer Entfernung über Satellit, wobei z.B. Wegpunkte übertragen werden, die dann autonom angesteuert werden. Bilddaten werden mit 20 Mb/s über kommerzielle Ku-Band-Satelliten an die vorn aufgebaute Kontrollstation übertragen oder in ein Netzwerk eingespeist, von wo sie per faseroptischem Kabel in die USA gesandt wurden. Aufgrund der Erfahrungen aus Afghanistan wurden im Irakkrieg die Daten mit Satelliten- und Landverbindungen mit 20-40 Mb/s in die Kontrollstation in den USA übertragen, wo Auswerter gleich nach Zielen suchten und diese Information an schon in der Luft befindliche Kampfflugzeuge übertrugen. Bei der Koordination mit den Kommandostellen vor Ort gab es Kommunikationsengpässe – zu wenige sichere Verbindungen standen zur Verfügung, und Videoabschnitte waren durch e-Post-Beschränkungen auf 5 Minuten begrenzt.

Selbst die CDL-Bandbreite von 274 Mb/s wird problematisch, wenn der volle Radarphasenverlauf oder multispektrale Bilder mit großem Gesichtsfeld und hoher Auflösung übertragen werden sollen.¹¹⁰

Für die Kommunikation mit Landfahrzeugen jenseits der direkten Funkreichweite werden v.a. UAV als Knoten vorgesehen.

Unter Wasser kann die Kommunikation zu UUV im Nahbereich wie bei vielen Torpedos über ein abspulendes (Lichtfaser-)Kabel ermöglicht werden. Diese Beschränkung soll durch Einbindung in das FORCEnet der US Navy überwunden werden.¹¹¹ FuE arbeiten an akustischer Übertragung, Funk (direkt und Satellit, Antenne über Wasser), optischer Übertragung (unter Wasser, Luft-Wasser) sowie an Informationssicherheit und Datenformaten für den Austausch, auch mit Verbündeten und Koalitionspartnern. Klein-UUV sollen als Knoten dienen, die z.B. an der Oberfläche Signale von Funk auf akustisch umsetzen, mit Entfernungen bis zu 500 km vom Mutterschiff.¹¹²

Funkkommunikation ist besonders problematisch bei der Aufklärung, da Sender und Empfänger nicht entdeckt werden sollen. Auch die Zusammenarbeit mehrerer Fahrzeuge stellt

¹⁰⁹ OSD, 2005: S. C-2 ff.

¹¹⁰ OSD, 2005: S. B-9 f.

¹¹¹ FORCEnet ist einer der vier Pfeiler des Konzepts Sea Power 21 der US Navy (Sea Shield, Sea Strike, Sea Base, FORCEnet) und soll die netzwerkzentrierte Kriegführung ermöglichen, Department of the Navy, 2004: S. 3; s. auch <http://forcenet.navy.mil> (27. 4. 2008).

¹¹² Department of the Navy, 2004: S. 44 ff., 65.

Herausforderungen an sichere Kommunikation, erst recht die Zusammenarbeit zwischen bemannten und unbemannten „Team-Mitgliedern“.

Die Kommunikationsanforderungen können sinken, wenn UMS Sensordaten autonom auswerten und entsprechend reagieren können. Dies bewirkt ein zusätzliches Motiv, die Autonomie zu erhöhen.

2.2.2.6 Autonomie¹¹³

Autonomie würde bei UMS mehrere militärische Vorteile bringen. Erstens könnte ein menschlicher Bediener mehrere UMS steuern, da er nur allgemeine Richtlinien ausgeben müsste. Zweitens würden Verzögerungszeiten durch Übertragung und menschliche Entscheidung ausfallen. Drittens wäre der Kommunikationsbedarf drastisch geringer, da die umfangreichen Sensordaten gleich an Bord verarbeitet würden und i.d.R. nicht mehr an andere Stellen übertragen werden müssten. Dadurch würde viertens die Entdeckbarkeit verringert.

Das erste autonome UAV (Condor) wurde von der DARPA 1988 entwickelt, es flog völlig programmgesteuert. Die nächsten Projekte, Global Hawk und Dark Star,¹¹⁴ hatten schon Möglichkeiten zur Selbstüberwachung und gewissen Anpassung an Flugbedingungen.

Zur Beurteilung des Autonomiegrades von UMS kann man eine einfache, nahe liegende Stufeneinteilung für unbemannte Systeme benutzen:¹¹⁵

- ferngesteuert (remotely piloted) – alle Entscheidungen werden durch den/die menschliche Bediener/in getroffen;
- fern-geführt (remotely operated) – das unbemannte System steuert sich selbst, aber übergeordnete Entscheidungen trifft der Mensch (Bewegung wohin, was dort tun);
- fern-überwacht (remotely supervised) – das unbemannte System führt seine Aufträge eigenständig aus, der Mensch greift nur ein, wenn es sie nicht richtig ausführt;
- völlig autonom (fully autonomous) – das unbemannte System bekommt Ziele von Menschen und leitet daraus Aufträge ab, die es ohne menschliches Eingreifen ausführt, mit Berechtigung zu allen Entscheidungen.

¹¹³ OSD, 2005: S. D-9 f., Department of Defense, 2007: S. 49.

¹¹⁴ Während Global Hawk in den Einsatz ging, wurde Dark Star (ebenfalls ein HALE-Typ zur Aufklärung) 1999 eingestellt, Committee on Materials, 2000: S. 15.

¹¹⁵ Clough, 2002: Anm. 1; der Artikel selbst entwickelt eine Klassifikation mit je 11 Stufen in 4 Dimensionen. Eine ähnliche vierstufige Einteilung wurde im DARPA-/Air-Force-/Boeing-X45-Programm für ein UCAV entwickelt (manueller Betrieb, Betrieb über Zustimmung, Betrieb über Ausnahmen, volle Autonomie), Committee, 2005: S. 52.

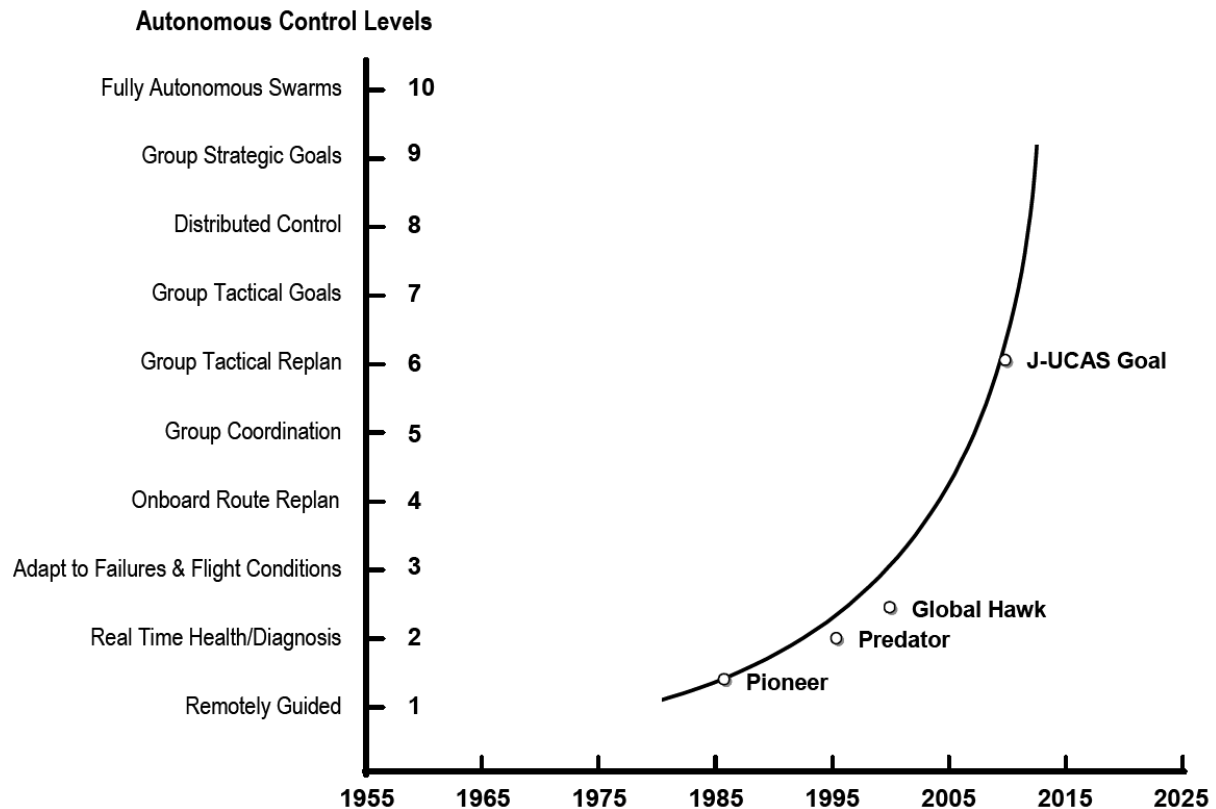


Abbildung 2-1 Stufen der autonomen Steuerung mit typischen UAV und erwarteten Zeiten¹¹⁶

Eine feinere, zehnstufige Einteilung wurde von der Army für das Future Combat System (FCS, s. Abschnitt 2.4.1) entwickelt, die u.a. Umweltwissen und Kooperation mit einbezieht, Tabelle 2-10; Abbildung 2-1 wendet eine ähnliche auf UAV an.¹¹⁷ Beginnend bei Fernsteuerung (Stufe 1) werden in Stufe 3 Wegpunkte vorgegeben, die dann selbständig angefahren/-geflogen werden. In den weiteren Stufen steigen dann das an Bord befindliche Wissen über die Umgebung sowie die Fähigkeiten, Gefahren und Objekte zu erkennen und angemessen auf sie zu reagieren. Die höchsten Stufen ab 8 enthalten Kooperation, bei 10 ist völlige Autonomie erreicht.

In den USA versucht seit 2003 eine Arbeitsgruppe aus Institutionen verschiedener Ministerien (Handel, Verteidigung, Energie, Transport) unter Federführung durch das National Institute of Standards and Technology, hoch differenzierte Kriterien zur Messung von Autonomie unbemannter Systeme zu entwickeln.¹¹⁸ Dazu sollen Begriffe und Definitionen, ein detailliertes sowie ein vereinfachtes Modell für eine Autonomiemetrik erarbeitet werden. Das detaillierte Modell arbeitet mit den Dimensionen Umgebungsschwierigkeit, Auftragskomplexität und Unabhängigkeit vom Menschen (jeweils in viele Unterbereiche aufgeteilt), das summarische

¹¹⁶ OSD, 2005: Fig. 5-5.

¹¹⁷ Vortrag 2003, zitiert nach Committee, 2005: S. 54 f.

¹¹⁸ Huang et al., 2005, und Quellen; Huang, 2006, und Quellen.

Modell soll einen Wert auf der Skala 0 bis 10 zwischen Fernsteuerung und voller Autonomie ergeben. Solche Bemühungen sind wohl auch motiviert durch kritische Anmerkungen des Komitees für Army-UGV:¹¹⁹

„Die größte Unsicherheit in Bezug auf intelligente Wahrnehmung und Steuerung liegt in der Beschreibung der UGV-Leistungsfähigkeit und der Auswirkungen von Wahrnehmung darauf. Es wurden keine Metriken dafür entwickelt, und keine statistisch signifikanten Daten in unbekannten Umgebungen und unter angespannten Bedingungen wurden erhoben. Es gibt keine systematische Art herauszufinden, wo Verbesserungen in welcher Reihenfolge nötig sind.“

Tabelle 2-10 Autonomieniveaus der US Army für das FCS¹²⁰

Niveau	Beschreibung	Fähigkeit
1	Fernsteuerung	Steuerbefehle vom entfernten Bediener
2	Fernsteuerung mit Wissen über Fahrzeugzustand	Steuerbefehle vom entfernten Bediener mit Nutzung Wissen über Fahrzeugzustand
3	Extern vorgeplanter Einsatz	Elementares Pfad-Verfolgen
4	Wissen über örtliche und geplante Pfadumgebung	Robuster Führer – Folger mit Bedienerhilfe
5	Gefahrenvermeidung oder -überwindung	Elementare halbautonome Navigation in offenem und sanft geschwungenem Gelände mit erheblichem Bedienereingriff
6	Objektnachweis, -erkennung, -vermeidung oder –bewältigung	Offenes und sanft geschwungenes Gelände mit Hindernisbewältigung, begrenzter Beweglichkeits-Geschwindigkeit, mit einiger Bedienerhilfe
7	Zusammenführen örtlicher Sensorsignale und Daten	Komplexes Gelände mit Hindernisbewältigung, begrenzter Beweglichkeits-Geschwindigkeit und einiger Bedienerhilfe
8	Kooperative Einsätze	Robust, komplexes Gelände mit voller Beweglichkeit und Geschwindigkeit. Autonomes koordiniertes Erreichen von Gruppenzielen autonomer Navigationssysteme mit Beaufsichtigung
9	Einsätze mit Zusammenwirken	Erreichen der Einsatzziele durch Zusammenarbeit bei Planung und Ausführung, mit Bedieneraufsicht
10	Volle Autonomie	Erreichen der Einsatzziele durch Zusammenarbeit bei Planung und Ausführung, ohne Bedieneraufsicht

Quelle: Committee, 2005: S. 54 f.

Das Department of Defense gibt an:¹²¹

¹¹⁹ Committee, 2002: S. 51.

¹²⁰

¹²¹ Department of Defense, 2007: S. 53.

„das letztendliche Ziel von UMS ist, die Bediener durch eine mechanisches Nachbildung von gleicher oder überlegener Denkgeschwindigkeit, Speicherkapazität und Reaktionen, die aus Übung und Erfahrung gewonnen wurden, zu ersetzen.“

Gleichzeitig stellt es aber fest, dass Autonomie ein großer Forschungsbereich ist und dass erhebliche Herausforderungen schon in der Zusammenarbeit mehrerer UMS stecken. Auch Anpassung und Lernen seien erst am Anfang.

Eine ungefähre Schätzung, wann autonome UMS mit relevanten Fähigkeiten zur Verfügung stehen könnte, ist schwierig. Sicher stellen Landfahrzeuge die größten Schwierigkeiten. Das Komitee für Army-UGV hat für seine anspruchsvollste Kategorie (Jäger), die u.a. Freunde, Feinde und Nicht-Kombattanten unterscheiden können soll, 2025 angegeben (s. Abschnitt 2.2.3). (Im Umkehrschluss heißt das, dass bis dahin autonome Angriffe nach dem Kriegsvölkerrecht unzulässig sein werden, s: Abschnitt 4.1.6.) Ob das erreicht werden kann, ist unklar – die Geschichte der Robotik ist voll von Versprechungen für schnelles Erreichen von Fähigkeiten, die Menschen leicht fallen, die aber erst viel später oder bisher gar nicht eingehalten wurden. Für das Fußball-Spielen, wohl eine deutlich leichtere Aufgabe, als im bewaffneten Konflikt gegen einen militärischen Gegner zu bestehen, gibt das internationale Roboterfußballprojekt eine sehr vorsichtige Schätzung ab:¹²²

“Das letztendliche Ziel des RoboCup-Projekts ist, um 2050 eine Mannschaft völlig autonomer menschenähnlicher Roboter zu entwickeln, die gegen den menschlichen Fußballweltmeister gewinnen kann.“

In diesem Licht erscheint das Ziel vollständiger, menschenähnlicher Autonomie militärischer UGV im Jahr 2025 nicht sehr realistisch.

2.2.2.7 Prozessoren¹²³

Überlegungen zu Rechenleistungen gegen i.d.R. von den Steigerungen der vergangenen fünf Jahrzehnte aus; gemäß dem von Moore beobachteten „Gesetz“ wächst die Anzahl der Transistoren auf den integrierten Schaltkreisen exponentiell mit der Zeit und verdoppelt sich jeweils in 1,5 bis 2 Jahren (Abbildung 2-2). Damit sind die Speicherkapazitäten und parallel auch die Taktraten gestiegen. Setzt man die menschliche Rechengeschwindigkeit mit 10^{14} Berechnungen/Sekunde an, sind gegenwärtige einigermaßen tragbare Rechner mit 10^{10} Berechnungen/Sekunde vier Größenordnungen darunter, bei 1-2 Größenordnungen höherem Leistungsbedarf. Extrapoliert man bisherige Trends, ist menschliche „Rechenleistung“ für Großrechner

¹²² <http://www.robocup.org> (24. 4. 2008).

um 2015, für kleinere mit Preisen um 10.000 \$ um 2030 zu erwarten. Jedoch wird die bisherige Halbleitertechnik 2015-2020 an Miniaturisierungsgrenzen stoßen. An neuen Hardware-techniken wird intensiv geforscht, denkbar sind molekulare, optische, biochemische oder Quantencomputer. Alle diese sind wohl noch mindestens 2 Jahrzehnte entfernt, Hybridausführungen könnten eventuell früher kommen. Alternativen sind spezielle Prozessoren, etwa digitale Signalprozessoren oder programmierbare Logiken (Field Programmable Gate Arrays, FPGA), in denen einmal erreichte fertige Algorithmen bei kleinerem Leistungsverbrauch 10-100-fach schneller ablaufen können als in Universalprozessoren.

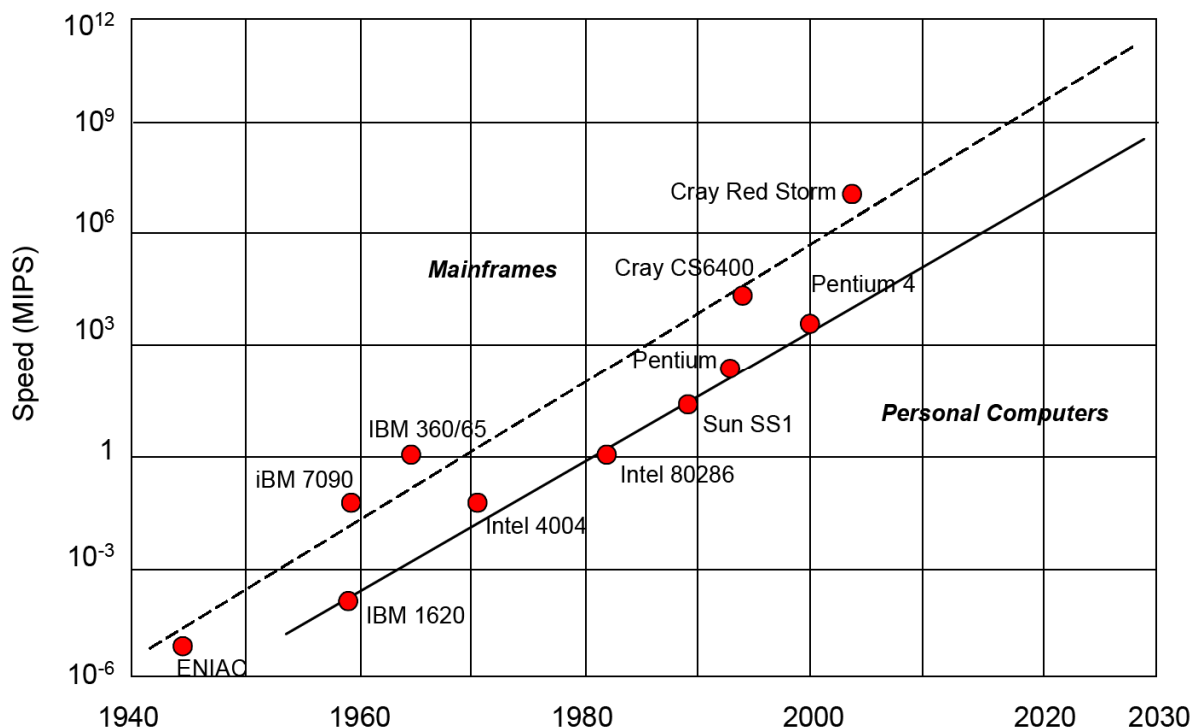


Abbildung 2-2 Trends in der Rechengeschwindigkeit von Großrechnern (oben) und PCs (unten) in Millionen Befehle pro Sekunde (MIPS = 10^6 instructions per second). Die menschliche Rechenleistung wird zu 10^8 MIPS geschätzt.¹²⁴

Gemäß einer Abschätzung sind für gute Fähigkeiten, ein Auto zu fahren, und durchschnittliche menschliche Leistungsfähigkeit beim Fahren 10^{11} bzw. 10^{12} Berechnungen pro Sekunde nötig, die je nach angenommenem Trend für 2006 bzw. 2011 erwartet werden.¹²⁵

¹²³ Committee, 2002: S. 99 f., OSD, 2005: S. 48 ff., Department of Defense, 2007: S. 53.

¹²⁴ Department of Defense, 2007: S. 46.

¹²⁵ Albus/Meystel, 2001, zitiert nach Committee, 2002: S. 100. Zum Vergleich: Ende 2007 erreichte die CPU Intel Quad-Core Xeon E5472 $8 \cdot 10^{10}$ Gleitkomma-Operationen/Sekunde, also etwa 10^{11} Berechnungen pro Sekunde, Intel, 2007.

Bei digitalen Datenspeichern werden Kapazitäten im Terabyte-Bereich ($1 \text{ TB} = 10^{12} \text{ Byte} = 1.024 \text{ Gigabyte}$) angestrebt, damit die vollen, ggf. multispektralen, Bildinformationen oder Radarphasen von mehreren Tagen an Bord von UAV gehalten und bei Bedarf über das Netzwerk abgerufen werden können.¹²⁶

Das letztere ist durch die Entwicklungen bei Festplatten schon erreicht und in Erprobungen demonstriert worden. Dass die Rechenleistung noch etwa 10 Jahre gemäß dem bisherigen Trend ansteigen wird, ist wahrscheinlich. Ob dann allerdings die alternativen Technologien zur Verfügung stehen werden und ihre Leistung ebenfalls entsprechend dem historischen Trend exponentiell wachsen wird, kann zur Zeit nicht verlässlich beurteilt werden.

2.2.2.8 Querschnittsfelder

Für UMS sind wissenschaftlich-technische Fortschritte in einer Reihe von Querschnittsfeldern relevant. Das US-Department of Defense (DOD) zitiert eine Studie zu aufkommenden Technologien des National Research Council.¹²⁷ Danach sind die großen Entwicklungen der nächsten zehn Jahre im Schnittfeld von Biowissenschaft und –technik, Materialwissenschaft und –technik sowie Computer- und Informationswissenschaft und –technik zu erwarten. Unter den aus der Wissenschafts- und Technikentwicklung herrührenden Faktoren hebt das DOD folgende Aspekte für UMS heraus:

- Transgene Biopolymere, etwa Spinnenseideneiweiß, versprechen ultraleichte, ultrafeste und wenig beobachtbare Hüllen für UMS.
- Nanoteilchen zeigen deutlich andere Eigenschaften als größere Anordnungen desselben Materials. Kohlenstoff-Nanoröhren mit sehr hoher Resonanzfrequenz könnten in UMS-Kommunikationsverbindungen genutzt werden. Oberflächenbeschichtungen mit Nanoteilchen können von transparent auf undurchlässig gesteuert werden, ihre Farbe verändern, elektrisch kühlen oder heizen oder in thermoelektrischen Energiewandlern verwendet werden.
- Mit Mikrosystemtechnik können alle Arten von UMS radikal verkleinert werden – z.B. mit Zentimeter großen Turbinen und Stecknadelkopf großen Aktoren. UGVs könnten wie unbeachtete Insekten abgesetzt werden, UUVs könnten sich an Seeminen heften.
- Für Brennstoffzellen wird an Protonenaustausch-Membranen gearbeitet, die ohne Wasser arbeiten können.

¹²⁶ OSD, 2005: S. B-9 f.

¹²⁷ Department of Defense, 2007: S. 44-48, National Research Council, 2002.

- Intelligente Materialien, die Sensoren, Steuerung und Aktoren enthalten, können für sich verformende Flügel von UAVs verwendet werden und besondere Steuerflächen mit ihrer Mechanik überflüssig machen.
- Magnetische Nanoteilchen können den nächsten Sprung in magnetischen Speichermedien bringen, was die Rechnerspeicher in UMS erheblich vergrößern würde.

Nanotechnik wird viele weitere Neuerungen mit militärischen Anwendungsmöglichkeiten bringen.¹²⁸ Im Bereich der in Abschnitt 2.2.2.2 schon erwähnten Materialien können Nanoteilchen-Beschichtungen die Temperaturfestigkeit in Antriebsmaschinen erhöhen. Kohlenstoffnanoröhren versprechen erheblich festere, dabei aber leichtere Verbundwerkstoffe. Sie können auch in zukünftigen Prozessoren (s. Abschnitt 2.2.2.7) als Schalt- oder Speicherelemente eine Rolle spielen. Mikrosystem- und Nanotechnik können für Sensoren, Resonatoren, Antennen und andere elektronische Elemente oder für Aktoren genutzt werden. Biotechnologie und Biomimetik können in vielen Bereichen neuartige oder effizientere Anwendungen erlauben, etwa insektenartige künstliche Systeme. Insbesondere für autonome UMS (s. Abschnitt 2.2.2.6) sind Robotik, Künstliche Intelligenz (einschließlich Mustererkennung) und Kognitionswissenschaften zentrale Felder. Auf allgemeiner Ebene wird erwartet, dass die Konvergenz von Nanotechnik, Biotechnik, Informationstechnik und Kognitionswissenschaften – sowie weiteren Feldern – zu revolutionären Veränderungen in vielen Bereichen der Produktion, des menschlichen Lebens und sogar des Menschen überhaupt führen werden.¹²⁹

Eindrücke von den Querschnittsfeldern, die für zukünftig mögliche militärische Anwendungen untersucht werden, erhält man aus den Programmen der US-DARPA. Von ihren fünf technischen Abteilungen ist das Tactical Technology Office für fortgeschrittene Technikentwicklung, also relativ anwendungsnahe Projekte, zuständig. Querschnittsfelder werden durch die anderen vier Abteilungen bearbeitet, wobei das Defense Sciences Office (DSO) die grundlegendsten Fragen behandelt. Tabelle 2-11bis Tabelle 2-14 zeigen die Bereiche dieser vier Abteilungen, beim DSO mit den jeweiligen Programmen, soweit sie nach einer schnellen Durchsicht für UMS relevant sind, zusammen mit einer groben Einteilung nach dieser Relevanz. Beachtenswert ist das große Gewicht der Biologie, aber auch Informationstechnik, Kognitionswissenschaft und Elektronik/Photonik sowie Mikrosystemtechnik werden intensiv erforscht.

¹²⁸ Altmann, 2006: Ch. 4; Grüne et al., 2006.

¹²⁹ Roco/Bainbridge, 2003, für militärische Anwendungen s. Section E. Für die deutlich andere europäische Vision der Konvergenz s. HLEG, 2004.

Tabelle 2-11 Strategische Hauptrichtungen und jeweilige Programme des Defense Sciences Office der DARPA, zusammen mit einer groben Bewertung ihrer Relevanz für UMS (N: niedrig, M: mittel, H: hoch). In den Feldern, wo nur wenige Programme mittlere Relevanz haben, sind nur diese explizit aufgeführt, von denen mit niedriger wird nur die Anzahl angegeben.

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
<i>Physik</i>		
Grundlagenphysik	(5 Programme)	N
	Licht verlangsamen, speichern und verarbeiten	M
Neue physikbasierte Geräte und Anwendungen	Anwendungen von Molekularelektronik	M
	Konzepte biomagnetischer Schnittstellen	N
	Chemische Kommunikation	N
	Kompakte gerichtete Neutronenquelle	N
	Präzisions-Trägheitsnavigationssysteme	H
	Programmierbare Materie	M
Energie	Direkte thermoelektrische Wandlung	H
	Integrierte Kondensatoren hoher Energiedichte	H
	Mikro-Energiequellen	H
	Mobile, integrierte, nachhaltige Energie-Rückgewinnung	H
	Robuste, tragbare Energie	N
	Kleinmotor für unbemannte Luftfahrzeuge	H
	Supraleitende hybride Leistungselektronik	M
<i>Materialien</i>		
Neue Materialien und Materialprozesse	Beschleunigte Einführung von Materialien (D-3D)	H
	DARPA-Initiative in Titan	H
	Revolutionäre Herstellungsmethoden	M
	Verdunstungskühlung von Turbinenschaufeln	M
	Korrosionsfeste Hochleistungsmaterialien	M
	Optische Nanoverbundkeramik	N
	Fortgeschrittene amorphe Marinebeschichtungen	M
	Materialien mit negativem Brechungsindex	M
	Superkohlefasern der nächsten Generation	H
	Prognose	H
	Strukturelles amorphes Metall	M
Multifunktionelle Materialien und Materialsysteme	Panzerungsherausforderung	N
	Chemische Roboter	H
	“Harddraht“-DARPA-Panzerung	N
	Düsenstrahlumlenker	N
	Multifunktionelle Oberflächensysteme	M
	Nano-Luftfahrzeug	H
	Polymer-Eis	N
	Verborgenes, andauerndes Sitzen und Starren	H
	Topologisch gesteuerte leichte Panzerung	N
	Wespe	H
Biologisch inspirierte Materialien	Konstruierte biomolekulare Nanogeräte/-systeme	M
	Materialsysteme für autonome strukturelle Gestaltung	M
	Z-Man	M
<i>Übung und menschliche Leistungsfähigkeit</i>	(6 Programme)	N
	Improving Warfighter Information Intake Under Stress (AugCog)	M
<i>Mathematik</i>	(5+4 Programme)	N
<i>Abwehr biologischer Kriegsführung</i>		
Beschleunigung kritischer Therapie	(3 Programme)	N
Schutz und Nachweis	(2 Programme)	N

	Adaptive Femtosekunden-Spektroskopie-Techniken für Fernnachweis von Agenzien	M
<i>Biologie</i>		
Taktische biomedizinische Techniken	(6 Programme)	N
Wiederherstellende biomedizinische Techniken	(3 Programme)	N
Aufrechterhaltung der menschlichen Kampffähigkeit	(6 Programme)	N
Biologisch inspirierte Plattformen und Systeme	Nachbildung biologischer Sensorstrukturen	H
	Synthetische bio-optische Systeme	H
	Neovision	H
	Leistungsschwimmen	N
	Verborgene Sensoren	N

D-3D: steht vermutlich für digitale 3-dimensionale Modellierung/Gestaltung

Quelle: DARPA-DSO, 2008.

Tabelle 2-12 Hauptfelder des Information Processing Techniques Office der DARPA, zusammen mit einer groben Bewertung ihrer Relevanz für UMS (N: niedrig, M: mittel, H: hoch).

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
<i>Kognitive Systeme</i>	15 Programme	H
<i>Führung und Steuerung</i>	8 Programme	H
<i>Rechnen mit hoher Produktivität</i>	3 Programme	H
<i>Sprachverarbeitung</i>	3 Programme	N
<i>Sensoren und Verarbeitung</i>	14 Programme	H
<i>Aufkommende Technologien</i>	3 Programme	M

Quelle: DARPA-IPTO, 2008.

Tabelle 2-13 Hauptrichtungen des Microsystems Technology Office der DARPA, zusammen mit einer groben Bewertung ihrer Relevanz für UMS (N: niedrig, M: mittel, H: hoch).

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
<i>Elektronik</i>	26 Programme	H
<i>Photonik</i>	34 Programme	H
<i>Mikrosystemtechnik</i>	17 Programme	H
<i>Architekturen</i>	24 Programme	H
<i>Algorithmen</i>	19 Programme	H

Quelle: DARPA-MTO, 2008, 2008a.

Tabelle 2-14 Hauptrichtungen des Strategic Technology Office der DARPA, zusammen mit einer groben Bewertung ihrer Relevanz für UMS (N: niedrig, M: mittel, H: hoch).

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
<i>Sensoren und Strukturen im und nahe dem Weltraum</i>	11 Programme	H
<i>Strategische und taktische Netzwerke</i>	16 Programme	H
<i>Informationsgewissheit</i>	1 Programm	N
<i>Entdeckung und Charakterisierung von Untergrundeinrichtungen</i>	3 Programme	M
<i>Chemische, biologische und radiologische Abwehr</i>	5 Programme	M
<i>See-Operationen</i>	10 Programme	H
<i>Operationen kleiner Einheiten</i>	19 Programme	M

Quelle: DARPA-STO, 2008.

2.2.3 Größte Herausforderung: Landfahrzeuge

Die ausführlichste Darstellung der Anforderungen und technischen Aussichten findet sich in der Studie zu Army UGV.¹³⁰ Dort wurden für die Bearbeitung vier UGV-Typen mit steigenden Anforderungen definiert:

- *Sucher*: klein, leicht, wetterfest, ferngesteuert zum Durchsuchen von Gebäuden und Tunneln, mit hoch auflösenden Sensoren und Manipulatorarm, mit Lautsprecher und ggf. nicht-tödlicher Nutzlast. Demonstration im Haushaltsjahr 2005 möglich.
- *Esel*: einfach, kostengünstig, zuverlässig; halbautomatisch, unabhängig von Wetter und Tageszeit, kann Vorräte, Rucksäcke oder anderes Gerät durch das Gelände nach vorn bringen, entlang einer markierten oder programmierten Spur, mit eigener Entscheidung über den Weg zwischen den Markierungen. Einfache Sensoren können andere Fahrzeuge oder Menschen erkennen. Ein Mensch legt Ziele fest und kann in unklaren Situationen eingreifen. Demonstration im Haushaltsjahr 2009 möglich.
- *Flügelmann*: untergeordnetes Fahrzeug in einem Zweierteam, hält Position relativ zum bemannten Führungsfahrzeug oder nimmt feste Position ein, beobachtet seinen Sektor und meldet, kann sich auf dem Gefechtsfeld automatisch bewegen, hat ausgefeilte Sensorik, kann natürliche und künstliche Objekte erkennen, u.a. Menschen, Fahrzeuge, Hindernisse. Unabhängig von Wetter und Tageszeit, bis 100 km/h; hohe Zuverlässigkeit mit Selbstüberwachung. Ausgefeilte Zielerkennung, Erzeugung und Übertragung von Empfehlungen zum Feuern, programmiertes Ausweichen wenn angegriffen. Demonstration im Haushaltsjahr 2015 möglich.
- *Jäger*: autonom, mittlere Größe, zu mindestens 10 im Team, mit je bis zu 5 kleineren erkundenden Tochter-UGV, kann Gelände und Hindernisse detailliert verstehen, Feinde, Freunde und Nichtkombattanten unterscheiden, mit schnellen Kommunikationsverbindungen und örtlicher wie weiterer Vernetzung. Unabhängig von Wetter und Tageszeit, bis 120 km/h; sehr hohe Zuverlässigkeit mit Selbstüberwachung und -reparatur. Für Überfälle aus dem Hinterhalt. Sehr wenig menschlicher Eingriff (bis 30 Tage ohne). Demonstration im Haushaltsjahr 2025 möglich.

Anhand dieser Typen untersuchte das Komitee spezifische Technikfelder, die mit autonomem Verhalten von UGV zu tun haben. Weiterhin betrachtete es unterstützende Technikbereiche. Es bestimmte die Fähigkeitslücken und schätzte ab, wann ein Prototyp in relevanter Umgebung demonstriert werden kann.

¹³⁰ Committee, 2002.

Bei den unterstützenden Technologien werden fünf Bereiche genannt:

- Mensch-Roboter-Wechselwirkung: Hier geht es um Mensch-Roboter-Schnittstellen, um die Wechselwirkung mit mehreren Robotern – insbesondere unter Stress und kognitiver Ermüdung) –, darum, wie Verantwortlichkeiten je nach Kontext dynamisch zwischen Menschen und Robotern verteilt werden und darum, wie die Wirkung von Ungewissheit und Informationsüberlastung abgemildert werden kann.
- Beweglichkeit: Dies ist ein Maß für die Fähigkeit, raues Gelände ohne Wahrnehmung durchqueren zu können, oft gemessen in der Größe eines (positiven oder negativen) Hindernisses, das bewältigt werden kann. Hohe Beweglichkeit minimiert die Wahrnehmungslast, verringert die Zeit zur Suche nach einem Weg, erleichtert verdeckte Aufgaben und verhindert Steckenbleiben.
- Kommunikation: Die zivile Technik hat zunächst statische, verdrahtete Netzwerke sehr hoch entwickelt, jetzt sind mobile Endstellen dazu gekommen, die Infrastruktur (z.B. Funkknoten) ist aber weiter i.w. statisch. Militärische Bedürfnisse nach einer dynamischen, redundanten und mobilen Netzstruktur werden durch diese Protokolle nicht erfüllt. Die Anforderungen der vier UGV-Typen unterscheiden sich stark: Der ferngesteuerte „Sucher“ braucht eine hohe Bandbreite mit kleiner Latenz und hoher Zuverlässigkeit, aber nur über kurze Entfernungen, ggf. sogar mit Kabel. Der „Esel“ benötigt Kommunikation hauptsächlich am Anfang und Ende seines Weges, mit kleiner Datenrate und mäßiger Latenz. Für die Kommunikation des „Flügelmanns“ mit dem steuernden bemannten Fahrzeug werden mittlere bis hohe Bandbreite, mäßige Latenz und hohe Zuverlässigkeit benötigt. Der netzwerkzentrierte „Jäger“ braucht zum Situationsbewusstsein hohe Bandbreite und hohe Zuverlässigkeit, die Signale müssen schwer abzuhören und zu entdecken sein. Sich bei Autonomie v.a. auf die eigenen Sensoren zu verlassen, wäre erheblich teurer und würde ein geringeres Maß an Situationsbewusstsein bedeuten. Sichere Kommunikation erfordert den dynamischen Netzaufbau und den Austausch von Schlüsseln, je nach Typ über unterschiedlich große Bereiche.
- Energieversorgung: Die Energiequelle und die Rate des Verbrauchs sind zentral. Für kleine Systeme sind Batterien angemessen, größere brauchen Motoren, ggf. hybride Antriebe; perspektivisch sind Brennstoffzellen möglich. Verbraucher sind die Bewegung, die Fahrzeugsysteme und die Nutzlast wie etwa Sensoren. Ein wichtiger Gesichtspunkt ist auch die Minimierung der akustischen, elektromagnetischen, Infrarot- und visuellen Signaturen, insbesondere wenn es um heimliche Einsätze geht. Auch die Logistikanforderungen sind relevant.

- Instandhaltung: Einerseits soll der Roboter robust sein, andererseits soll er Ausfälle oder Verschlechterung von Komponenten bemerken, diagnostizieren und beheben.

Tabelle 2-15 Die Fähigkeitslücken bei den UGV-spezifischen Feldern für den „Jäger“ – 23 haben hohe Schwierigkeit, 2 mittlere (**), 1 niedrige (*)

Wahrnehmung auf Straße im Gelände	schnelle Algorithmen und Berechnungen für 120 km/h langreichweitige Sensoren Algorithmen für Vielfach-Sensor- und Datenfusion Entdeckung u. Vermeidung statischer Hindernisse bei 120 km/h Geländeklassifikation und Geschwindigkeit, Steuerung anpassen Laufend Gelände erfassen in Bezug auf Deckung und Verstecken
Situationsbewusstsein	(**) Algorithmen und Sensoren: Bewegung erkennen, Quelle identifizieren Auswahl geeigneter Beobachtungspunkte (mit Sichtschutz und Verbergen) Erkennen, Verfolgen und Ausweichen andere Fahrzeuge, Personen Freundliche/feindliche Kampffahrzeuge unterscheiden Unerwartete Bewegung/Aktivitäten erkennen Mögliche menschliche Angreifer in der Nähe erkennen Sensoren in versteckter Position (indirekt) Ortung zur Koordination vielfacher Roboter Identifikation von Nichtkombattanten
Navigation	(**) Fehlerentdeckung und –korrektur
Planung Weg Aufgabe	(*) taktische Formationsplanung (**) Route auf Grund externer Sensordaten anpassen Plan zur Optimierung von Beobachtungspunkten, Anordnungen zu zerstörender Ziele und Kommunikationsverbindungen Wegplanung für viele Objekte und Verfolgung/Ausweichen für vielfache UGV Plan für komplexe Aufgaben einschließlich Überleben im Kampf Plan für Einsätze von Team und Tochter-UGV Unabhängige Aktionen
Verhalten und Fertigkeiten taktische Fertigkeiten kooperative Roboter Lernen/Anpassung	Unabhängige Operationen; fehlerfreie Steuerung für tödliche Einsätze Selbsterhaltung und defensive Manöver Komplexe militärische Einsatzverhaltensweisen Formationssteuerung von vielfachen UGV und UAV Fortgeschrittene Fusion mehrfacher Sensor- und Dateneingänge Fortgeschrittene Verbesserung von Verhaltensweisen durch Maschinenlernen

Quelle: Committee, 2002: Table 4-10.

Tabelle 2-16 Die Fähigkeitslücken bei den unterstützenden Technologien für den „Jäger“ – 10 haben hohe Schwierigkeit, 1 mittlere (**), 1 niedrige (*).

Mensch-Roboter- Wechselwirkung	Natürliche Benutzer-Schnittstellen Methoden für Wechselwirkung und Eingriff unter Stress Fast autonome Mensch-Roboter-Wechselwirkungs-Algorithmen, die mehrfache Bediener und Roboter unterstützen
Beweglichkeit	(**) Heterogene Tochtersysteme für den Transport spezialisierter Roboter und Sensoren Plattform fähig, mit 120 km/h fertig zu werden
Kommunikation	Hohe Bandbreite für sichere und zuverlässige netzwerkzentrierte Kommunikation
Energieversorgung	(*) Lange Bereitschaftsdauer (30 Tage) Energiesystem mit hohem Wirkungsgrad und verringerten Signaturen Ermöglichende Techniken für Beweglichkeit bei hoher Geschwindigkeit
Instandhaltung	Selbstreparatur durch Neuordnung von Komponenten Selbstreparatur durch Selbstumprogrammierung

Quelle: Committee, 2002: Table 5-4.

Bei den Fähigkeitslücken wird zwischen niedrigem, mittlerem und hohem Schwierigkeitsgrad bzw. Risiko unterschieden. Bei den UGV-spezifischen Feldern gibt es die größten Schwierigkeiten naturgemäß bei den anspruchsvolleren Typen „Flügelmann“ und „Jäger“. Für den letzteren sind von 26 identifizierten Lücken 23 in der höchsten Kategorie, das zeigt Tabelle 2-15. Auch bei den fünf unterstützenden Technologien werden hier nur die Fähigkeitslücken in Bezug auf die komplexeste UGV-Art, „Jäger“ dargestellt, Tabelle 2-16.

Zur Abschätzung der Zeiträume wurde das Technologie-Bereitschaftsniveau 6, d.h. die Demonstration eines Systemmodells oder –prototyps in relevanter Umgebung, benutzt.¹³¹ Für jedes Technologiefeld wurden die optimistischsten Zeiten für die vier betrachteten UGV-Arten abgeschätzt. Insgesamt ergaben sich (US-Haushaltsjahr):¹³²

- *Sucher*: 2005,
- *Esel*: 2009,
- *Flügelmann*: 2015,
- *Jäger*: 2025.

Zur vereinfachten Darstellung wurden die Zeiten aufgeteilt in kurzfristig, mittelfristig (2006 bis 2015) und langfristig (2016-2025). Tabelle 2-17 zeigt diese Schätzungen sowohl für die Autonomie-bezogenen Technikfelder als auch für die unterstützenden Technikbereiche.

Tabelle 2-17 Schätzung, wann das Technologie-Bereitschaftsniveau 6 erreicht werden wird

UGV-Typ	Sucher	Esel	Flügelmann	Jäger
<i>Bereiche für autonomes Verhalten</i>				
Wahrnehmung für Bewegung von A nach B	K	M	M	L
für Situationsbewusstsein	M	M	M	M
Navigation	K	K	M	M
Planung für Weg	K	K	M	M
für Aufgabe	K	K	M	L
Verhalten und Fertigkeiten taktische Verhaltensweisen	K	M	L	L
kooperatives Verhalten	K	K	K	L
Lernen/Anpassung	K	M	M	L
<i>Unterstützende Technikbereiche</i>				
Mensch-Roboter-Wechselwirkung	K	K	M	M
Beweglichkeit	K	K	K	K
Kommunikation	M	K	K	L
Energieversorgung	M	M	L	L
Instandhaltung	K	K	M	M

Quelle: Committee, 2002: Tables 4-9, 5-4.

K: kurzfristig

M: mittelfristig (2006-2015)

L: langfristig (2016-2025)

¹³¹ Die Technologie-Bereitschaftsniveaus reichen von 1 (Grundlagenforschung) bis 9 (erfolgreich im Einsatz), s. Anhang 2.2.

¹³² Das US-Haushaltsjahr (Fiscal Year, FY) geht vom Oktober des Vorjahres bis zum September des angegebenen Jahres.

Die Studie stellt fest, dass eine Reihe von zentralen Technologien noch relativ unreif sind, weit entfernt von der Realisierung sind oder sehr hohe Ungewissheit oder Risiko haben. Das gilt u.a. für:¹³³

- Beschreibung der UGV-Leistungsfähigkeit und Bestimmung der Auswirkungen vonWahrnehmung u.a. darauf, insbesondere gibt es keine Metrik dafür,
- Algorithmen für die Einsatzplanung sowie für die Wegplanung für viele UGV and UAV,
- Technologie für taktisches Verhalten,
- annähernd menschliche Fähigkeiten zur Beherrschung komplexen Geländes,
- Technologien zur Signaturunterdrückung,
- kooperatives Verhalten,
- echtes Lernen, das mit der Komplexität der Gefechtsumgebung umgehen kann, einschließlich eines Maßes für die Komplexität
- Mensch-Roboter-Wechselwirkung, insbesondere ist ungewiss, welche Technologien benötigt werden, wenn einmal Einsatzanforderungen festgelegt sind,
- Kommunikation, einschließlich der Verhinderung von Störung und Abhören, der Sicherheit und Kompatibilität, der Sicherstellung, dass immer Netzknoten in genügender Nähe aktiv sind.

Vergleicht man die Vorhersage für den „Sucher“ (2005/6 Demonstration in relevanter Umgebung) mit der Realität, kann man feststellen, dass in der Tat ferngesteuerte Kleinroboter in Afghanistan und Irak im Einsatz sind, d.h. in besetzten Ländern, nicht in echter Kampfumgebung. Nimmt man die Schwierigkeiten für die weiteren Typen mit höheren Stufen an Autonomie ins Auge, ist unklar, ob die optimistischen Vorhersagen – selbst bei deutlich erhöhtem Mitteleinsatz – erfüllt werden können. Insbesondere scheint nicht sicher gewährleistet, dass der Auftrag des US-Kongresses, ab 2015 ein Drittel der Landkampffahrzeuge ohne Besatzung fahren zu lassen, erfüllt werden kann (s. auch Abschnitt 2.4.1).

2.2.4 Beziehungen zwischen militärischen Anforderungen und Technologien

Zwischen militärischen Anforderungen und Technologien bestehen komplexe Beziehungen. Einerseits will das Militär in allen Bereichen neue Möglichkeiten, die sich durch neue Technik abzeichnen, zügig nutzen, wobei erheblich höhere Kosten akzeptiert werden als auf zivilen Märkten. In diesem Sinn sind die militärischen Anforderungen an neue Technik prinzipiell unbegrenzt. Gewünscht werden immer: höhere Geschwindigkeit, längere Reichweite, höhere Nutzlast, schnellere Rechen- und Datenübertragungsrate, mehr Information, gezieltere

¹³³ Committee, 2002: S. 59, 61, 66, 68, 75, 82.

Zerstörung usw. Andererseits operieren die Streitkräfte auf dem jeweils gegebenen Stand der Technik, die klare Randbedingungen für Systeme und Einsatzarten setzt, neben den Randbedingungen durch die jeweiligen Umgebungsbedingungen und die Naturgesetze. Unter Wasser und im Weltraum braucht man z.B. eine Energieversorgung, die ohne Umgebungsluft auskommt. Man kann Nutzlast opfern und Reichweite gewinnen oder umgekehrt, v.a. bei Luft- und Weltraumfahrzeugen. Aktive Sensoren wie Radar brauchen erheblich mehr Energie als passive.

Wenn detaillierte militärische Anforderungen vorliegen, lassen sich daraus technische Spezifikationen ableiten (oder man findet, dass sie mit vorhandener Technik nicht oder nur zu unakzeptabel hohen Kosten erfüllt werden können).

Sonst lassen sich über die Beziehungen zwischen militärischen Anforderungen und Technologien nur relativ allgemeine Aussagen treffen. Einige Beispiele sind: Zur Aufklärung und Überwachung eines Gebiets ist Fliegen i.A. die geeignetste Methode. Werden lange Überwachungszeiten benötigt, muss man hoch fliegen, viel Treibstoff und wenig Nutzlast an Bord haben. Soll ein UMS als Waffe benutzt werden, braucht man i.d.R. viel Nutzlast und eine hohe Geschwindigkeit, was eine kürzere Reichweite bedingen kann. Im Fall von UAV kann es nötig sein, zum Ausweichen vor Luftabwehr tief zu fliegen, was ebenfalls die Reichweite verringert. Gewichtsbeschränkungen folgen, wenn UMS von Personen getragen oder in normalen Fahrzeugen transportiert werden können sollen oder wenn sie luftverlastbar sein sollen. Sollen UAV in großer und sehr großer Entfernung operieren oder aufklären, sind entsprechende Kommunikationsverbindungen erforderlich.

Werden Start oder Landung von UAV auf beliebigen Schiffen verlangt, ist Fähigkeit zur senkrechten Bewegung die nahe liegende Lösung – Start mittels Katapult oder Raketentriebwerk und Landung mittels Haken und Seil sind deutlich komplizierter.

Soll ein UMS nur den Nahbereich erkunden und dabei leise und klein sein, ist Elektroantrieb geeignet.

Mit UGV müssen erheblich mehr Problem mit Hindernissen gelöst werden als mit UAV, aber sie können erheblich mehr Nutzlast transportieren.

2.2.5 Erwartete Einführungszeiten

Die UMS Roadmap enthält eine grafische Darstellung der erwarteten Zeiten, wann bestimmte militärische UMS-Einsatzarten erreicht werden werden, die die Angaben aus den verschiedenen Einzeldokumenten für UGV, USV/UUV und UAV zusammenfasst, Tabelle 2-18.

Tabelle 2-18 Einsatzarten für UGV, USV/UUV und UAV mit den erwarteten Einführungszeiten¹³⁴

Einsatzart	Einführungszeit
<i>Land (UGS)</i>	
Aktive Räumung und Zerstörung von improvisierten Sprengmitteln gegen große Fahrzeuge	1999-2011
Neutralisierung von Antipersonenminen	2000-2006
Fernbediente Räumung von Sprengmunition	2001-2006
Antiterror-/Streitkräfteschutz-Missionen	2002-2007
Mann-tragbare Räumung von Sprengmunition	2005-2009
Späher/Nachrichtenmaterial, Überwachung und Aufklärung/nukleare, biologische, chemische Aufklärung/direktes Feuer/Kontrolle von Menschenmengen	2007-2018
Tödlicher und nicht-tödlicher, vorn stationierter Streitkräfteschutz	2008-2010
Streife und Überwachung bei Einrichtungen von Expeditionstruppen	2008-2019
FCS-Manöver-Unterstützung und -Aufrechterhaltung	2013-2025
Kooperatives verbundenes Gefecht	2017-2027
<i>Unter Wasser (UUS)</i>	
Aufklärung in sehr flachem Wasser	1998-2003
Autonome Kartierung unter Wasser	2001-2006
Inspektion/Identifikation	2001-2006
Minengegenmaßnahmen (Zwischenstufe)	2002-2007
Mann-tragbarer Kommunikations- und Navigations-Netzwerkknoten	2004-2008
Ozeanographie	2007-2012
Schiffsgestützte Minengegenmaßnahmen	2008-2013
Minen-Neutralisierung	2009-2014
Schiffsgestützter Kommunikations- und Navigations-Netzwerkknoten	2010-2015
Nachrichtenmaterial, Überwachung und Aufklärung	2010-2015
Aufklärungsvorbereitung für Minen-Gegenmaßnahmen	2012-2017
Informationsoperationen	2014-2019
Nutzlastablieferung für U-Boot-Bekämpfung	2014-2019
U-Boot-Aufspürung und -Verfolgung	2018-2023
Zeitkritischer Schlag	2022-2027
<i>An Wasseroberfläche (USS)</i>	
Nachrichtenmaterial, Überwachung und Aufklärung/ Seeüberwachung	2009-2014
Minen-Gegenmaßnahmen-Suche/Räumung	2012-2017
U-Boot-Bekämpfung, Seesicherheit	2012-2017
See-Abriegelungs-Operationen	2013-2017
Oberflächen-Kriegführung	2013-2018
Spezialeinsatzkräfte an/in Flüssen	2016-2021
Bewaffnete U-Boot-Bekämpfung/Seesicherheit/ Oberflächenkriegführung	2017-2022
<i>Luft (UAS)</i>	
Aufklärung	2000-2003
Taktischer Schlag	2000-2003
Kommunikationsrelais	2006-2010
Unterdrückung der gegnerischen Luftabwehr	2006-2011
Eindringen/Schlag	2010-2015
Sammeln für Signalaufklärung	2010-2015
Seepatrouille	2011-2015
Integrierter Schlag /Unterdrückung der gegnerischen Luftabwehr	2015-2020
Luftbetankung	2016-2020
Luftkampf	2020-2025
Überwachung/Gefechtsmanagement	2020-2025
Integrierter Schlag/Unterdrückung der gegnerischen Luftabwehr/Luftkampf	2025-2030
Lufttransport	2025-2030

FCS: Future Combat System

¹³⁴ Abgelesen aus Department of Defense, 2007: Fig. 1-2, wo möglich anhand Einzelstudien geprüft.

2.3 Ländervergleich

In Robotik und bei UGS stehen die höchstentwickelten Industrieländer auf etwa dem gleichen Stand, evtl. mit leichtem Vorsprung der USA.¹³⁵ Prototypen sind entwickelt und erprobt worden, Wettbewerbe haben eine begrenzte Leistungsfähigkeit gezeigt, aber noch sind – mit Ausnahme kleiner, ferngesteuerter UGS – keine Systeme eingeführt worden. Wegen der insgesamt größeren Aufwendungen, des nunmehr systematischeren Herangehens auch bei allgemeinen Technologien sowie möglicher Synergien mit Entwicklungen bei UAS ist zu erwarten, dass die USA einen gewissen qualitativen Vorsprung bei militärischen UGS halten und ausbauen können, insbesondere dann, wenn die Schwierigkeiten beim FCS (s. Abschnitt 2.4.1) überwunden werden sollten, die Systeme sich als wirksam und kostengünstig erweisen sollten und sie auf Grund der ersten Erfahrungen zügig modernisiert werden können – ob das so kommen wird, ist aber offen. Je nach den Erfahrungen könnten dann Länder Westeuropas oder Israel solche Entwicklungen ohne längere Verzögerung nachvollziehen. Russland und China würden länger brauchen, Länder wie Indien oder Brasilien würden noch später folgen. In Bezug auf China schätzt das US-Verteidigungsministerium ein, dass dieses Land in Robotik zurück liegt, aber an einer Reihe von Problemen arbeitet und eine starke Infrastruktur hat. Wenn China es wolle, sei es in der Lage, militärische Roboter zu entwickeln.¹³⁶

Bei USS ist die Lage grob ähnlich, nur dass erheblich weniger an FuE geleistet wurde und wird und die Relevanz für Marinen relativ gering ist – große Überwasserschiffe werden die Hauptsysteme bleiben, und sie werden weiterhin eine menschliche Besatzung haben.

Auch bei UUS ist die grundsätzliche Situation vergleichbar, allerdings können hier Länder mit Erfahrungen mit U-Booten oder Torpedos einerseits, mit zivilen Unterwassersystemen andererseits, an die entsprechenden Techniken anknüpfen.

UAS sind dagegen schon in vielen Ländern eingeführt und werden weiter entwickelt. Hier sind zwar die USA nach der Quantität verschiedener Arten und Typen sowie in bestimmten Bereichen, v.a. bei langreichweitigen UAS sowie bei bewaffneten UAS, auch qualitativ überlegen. Bei mittleren und kurzen Reichweiten ist insbesondere Israel hoch konkurrenzfähig. Auch einige westeuropäische Länder wie Deutschland, Frankreich oder Großbritannien stehen dem nur unwesentlich nach. Russland und China liegen deutlich zurück, noch größer ist der Abstand von Ländern wie Indien oder Brasilien. Andererseits ist davon auszugehen, dass die

¹³⁵ Das wird bestätigt durch die Aussage der UMS Roadmap, dass die USA in Robotik im Allgemeinen an führender Stelle stehen, Department of Defense, 2007: S. 55 f., und die Feststellung des UGV-Komitees für die US Army, dass keine anderen Länder UGV-Technik-Anwendungen haben, die erheblich weiter fortgeschritten sind als die der USA, Committee, 2002: S. 41.

¹³⁶ Department of Defense, 2007: S. 55 f.

Bewaffnung von UAV vielen Ländern möglich sein wird, insbesondere solchen, die schon Flugkörper herstellen. Langreichweitige Steuerung braucht verlässliche Satellitenverbindungen; im Kriegsfall würden sich nicht-westliche Länder nicht darauf verlassen können, dass sie westliche Satelliten nutzen können. Eine alternative Infrastruktur aufzubauen, wird viel Zeit und Geld kosten, wäre aber z.B. mit russischen oder später chinesischen Satelliten denkbar.

2.4 Einzelaspekte

2.4.1 Erfahrungen bei Future Combat Systems der USA

Future Combat Systems (FCS) der US Army ist ein ehrgeiziges Programm für integrierte, netzwerkzentrierte Kriegführung, der „Grundpfeiler der Armee-Modernisierung“ und „die größte technische und Integrations-Herausforderung, die sie je unternommen hat“.¹³⁷ Die erste Phase (Konzeptentwicklung) begann 2000 mit einem Übereinkommen zwischen Army und DARPA. 2002-2003 fand die Konzept- und Technologieentwicklungsphase statt. 2002 wurden Boeing und Science Applications International Corporation (SAIC) als führende Systemintegratoren verpflichtet. 2003 begann die Systementwicklungsphase. Im Juli 2004 wurde eine Beschleunigung beschlossen; die ersten Systeme sollten anstatt 2014 schon 2008 stationiert werden.¹³⁸ Das Programm umfasst über 550 Vertragsnehmer in 41 Staaten der USA.

Das FCS soll ein „System von Systemen“ mit einem verbindenden Netzwerk werden, Grundeinheit ist die Brigade.¹³⁹ Im ursprünglichen Konzept umfasste das Brigade Combat Team 18 individuelle Systeme (Bodensensoren, zwei Arten intelligente Munition, vier Typen unbemannter Luftfahrzeuge, drei Arten unbemannter Landfahrzeuge und acht Typen bemannter Fahrzeuge, Tabelle 2-19) (dazu das Netzwerk und den/die Soldaten/in). Als unbemannte Luftplattformen waren vorgesehen: ein kleines unbemanntes Luftfahrzeug für Aufklärung (Class I UAV), ein größeres senkrecht startendes für Zielbezeichnung (Class II UAV), eines für Kommunikation, Wetter usw. auf der Bataillonsebene (Class III UAV) und eines für die Brigadeebene (Class IV UAV); die beiden letzteren sollen ohne Flugfeld operieren können. Auf Land soll es ein bewaffnetes Roboterfahrzeug geben (ARV, Varianten für Aufklärung und für Angriff); ein kleines Fahrzeug für Operationen in Tunneln, Abwasserkanälen und Höhlen

¹³⁷ FCS, 2008, 2008a; GAO, 2008a; s. auch Global Security, 2008.

¹³⁸ Die ersten sog. Spin Outs sollen sein: die Gefechtsbefehlshäufigkeit, das Gemeinsame Taktische Funksystem (Joint Tactical Radio System, JTRS), unbeaufsichtigte Bodensensoren und das Nicht-Sichtlinien-Startsystem.

¹³⁹ FCS 2006, 2008

(SUGV) und ein multifunktionelles Einsatz- und Logistikfahrzeug (MULE) mit Versionen für Transport, zum Finden und Neutralisieren von Panzermijnen sowie zum Bekämpfen feindlicher Plattformen und Stellungen. Die Truppeneinheiten und Systeme sollen schnell global luftverlastbar sein.

Tabelle 2-19 Systeme des FCS (dazu kommt das Netzwerk); die mit * gekennzeichneten Systeme wurden 2007 gestrichen

Klasse	System	Bemerkungen
Unbeaufsichtigte Bodensensoren	Tactical UGS, Urban UGS	für Aufklärung und CBRN bzw. städtische Umgebung
Startsystem	Non-Line-of-Sight Launch System	Familie v. Flugkörpern aus Container
Intelligente Munition	Intelligent Munitions *	mit Sensoren und Steuerung
Unbemannte Luftfahrzeuge	Class I UAV Class II UAV * Class III UAV * Class IV UAV	< 7 kg, vertikal starten/landen doppelte Ausdauer, vertikal st./ld. Hubschrauber, f. Bataillon Hubschrauber, f. Brigade
Unbemannte Landfahrzeuge	Armed Robotic Vehicle Small Unmanned Ground Vehicle Multifunctional Utility/Logistics and Equipment Vehicle	Varianten f. Angriff, Aufklärung für Operationen in Tunneln, Abwasserkanälen und Höhlen Varianten f. Transport, Angriff, gegen Minen
Bemannte Landfahrzeuge	Mounted Combat System Infantry Carrier Vehicle Non-Line-of-Sight Cannon Non-Line-of-Sight Mortar Reconnaissance and Surveillance Vehicle Command and Control Vehicle Medical Vehicle Recovery and Maintenance Vehicle	für direktes u. indirektes Feuer vier Versionen Haubitze 155 mm Mörser 120 mm m. Sensoren, UGV, UAV Varianten f. Behandlung, Evakuierung f. Reparatur und Bergung

Quelle: FCS, 2006, 2008.

UGS: Unattended Ground Sensors

CBRN: Chemical, Biological, Radiological, Nuclear

Jedoch hat der Rechnungshof des US-Kongresses schon 2005 festgestellt, dass es erhebliche Verzögerungen gegeben hatte und dass ein deutliches Risiko besteht, dass die benötigten Fähigkeiten nicht mit den etatisierten Mitteln zur Verfügung gestellt werden können.¹⁴⁰ Von anfänglich 80 Mrd. \$ wurden die Kostenschätzungen auf 108 Mrd. \$ erhöht. (28 Mrd. \$ für FuE und 80 Mrd. \$ für die Beschaffung von 15 Einheiten). Wegen der überaus großen Aufwendungen und des erheblichen Risikos hat der Kongress 2006 den Rechnungshof beauftragt, jährlich über den Stand und die Aussichten des FCS zu berichten. Im Januar 2007 wurden 3 unbemannte Systeme gestrichen, die vorher weiter erhöhte Kostenschätzung wurde dadurch auf 161 Mrd. \$ konstant gehalten. Die beiden Rechnungshofberichte von März 2008 (zum Netzwerk und zur Software sowie zu FCS allgemein)¹⁴¹ kommen zu sehr negativen Aussagen:

¹⁴⁰ GAO, 2005.

¹⁴¹ GAO, 2008, 2008a; s. auch Shachtman, 2008.

- Nach fast fünf Jahren Entwicklung sei unklar, ob das Informationsnetzwerk, das den Kern des FCS bildet, entwickelt, gebaut und demonstriert werden kann.
- Die in Entwicklung befindliche Software für das Netzwerk und die Plattformen wird auf 95 Millionen Kodezeilen geschätzt, fast dreimal so viele wie bei Beginn 2003 und viermal so viel wie die nächsten beiden Software-intensiven Militärprogramme.
- Es sei unklar, wann oder wie demonstriert werden könne, dass die FCS-Software funktioniert.
- Die Technologien seien insgesamt unreif.
- Prototypen würden vor der Herstellung in kleinen Zahlen nicht genügend erprobt.
- Kostensteigerungen seien sehr wahrscheinlich.
- Die Strategie der Army für FCS habe nie der Politik des Department of Defense entsprochen.
- Die Army werde den Entscheidungsträgern 2013 wahrscheinlich ein teilweise entwickeltes und weitgehend nicht demonstriertes System zur Produktion präsentieren.
- Wenn erhebliche Probleme während der Produktion korrigiert werden müssen, können die Kosten untragbar sein, was den Modernisierungsplan der Army gefährden würde.

Daher sei es entscheidend, dass das FCS bei seiner Meilensteinbewertung 2009 gegen klare Kriterien geprüft werde, was sowohl die Leistungsfähigkeit als auch die Stichhaltigkeit des verbleibenden Zeitplans angehe. Das könne die letzte Gelegenheit sein, die Fähigkeit zur Kursänderung sicherzustellen, wenn dies erforderlich sein sollte.

2.4.2 UAV: Bemühungen um Integration in den Luftverkehr

Als Hauptnutzer von UAV hat das US Department of Defense seit langem ein hohes Interesse daran, dass sich militärische unbemannte Flugzeuge wie normale Flugzeuge im kontrollierten Luftraum zunächst der USA bewegen dürfen, 2004 hat es einen Plan dafür vorgelegt.¹⁴² 2005 haben die Teilstreitkräfte ein übergreifendes Team für die Integration von UAS in den Luftraum eingerichtet.¹⁴³ Das Department of Defense hat mit der Federal Aviation Administration (FAA) eine entsprechende Initiative gestartet und ist sich bewusst, dass dies für die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO) und andere Länder einen Präzedenzfall bilden wird. 2012 sollen UAV so fliegen können wie bemannte Flugzeuge: Flugplan aufgeben und fliegen. Bis dahin müssen viele Fragen geklärt werden. Im Bereich Verkehr geht es um Typprüfungen und Qualifikation der Bediener, bei der Technik sind die wichtigen Probleme

¹⁴² OSD, 2004; s. auch Department of Defense, 2007: Appendix A.3.

Erkennen und Ausweichen, Führung, Kontrolle und Kommunikation sowie Zuverlässigkeit. 2005 stellte das Department of Defense eine Norm für das Erkennen und Ausweichen auf. Im selben Jahr verkündete die FAA eine erste interne Richtlinie für den Betrieb unbemannter Flugzeugsysteme und gründete eine Programmabteilung für die Integration unbemannter Flugzeuge in den nationalen Luftraum. Diese Abteilung ist verantwortlich für die Leitlinien und Vorschriften für die Zertifizierung und den Betrieb von UAS sowie für deren sichere Integration in den nationalen Luftraum.¹⁴⁴ 2005 und 2006 hat die FAA 2 experimentelle Lufttüchtigkeitszeugnisse ausgestellt,¹⁴⁵ 2007 waren es schon 17 (allerdings reichen wegen des erforderlichen Arbeitsaufwands die vorhandenen Ressourcen in den nächsten Jahren nur für 4 Zeugnisse pro Jahr).

In Deutschland und Europa bemühen sich verschiedene Arbeitsgruppen und Institutionen um Regelungen für die Integration von UAV in den Luftverkehr (s. Abschnitt 2.1.4).

Während automatische Starts und Landungen inzwischen routinemäßig gelingen, verbleibt als eines der Hauptprobleme das Erkennen und Ausweichen vor anderen Luftfahrzeugen. Hier kann man sich weder auf die Flugsicherung noch auf kooperative Systeme an Bord der Kollisionspartner wie TCAS verlassen.¹⁴⁶ Die englischsprachige Bezeichnung „see and avoid“, die sich auf die Sicht durch einen Menschen bezieht, wird inzwischen für UAV durch „sense and avoid“ ersetzt, die andeutet, dass Sensorsysteme das Erkennen leisten sollen. Was genau das quantitativ bedeuten soll, muss erst geklärt werden. Nach dem Prinzip des äquivalenten Sicherheitsniveaus ist ein Maßstab die menschliche Erkennungsfähigkeit; im Mittel wird ein F-16-Kampfflugzeug von Pilot(inn)en in 3,0 km erkannt.¹⁴⁷ Forschungsprojekte untersuchen die Leistungsfähigkeit verschiedener Ansätze in Simulation und Experiment.¹⁴⁸ Wegen der verschiedenen UAV-Größen und der Vielfalt von Bedingungen wird eine Sensorart wahrscheinlich nicht ausreichen. Als passive Sensoren werden u.a. erprobt optische CCD-Video-kameras im sichtbaren oder Infrarotbereich, als aktive kommen Mikrowellen- oder Laser-Radar in Frage. Für kleine UAV sollen die Sensor- und Prozessorsysteme miniaturisiert werden.¹⁴⁹

¹⁴³ Das UAS Airspace Integration Joint Integrated Product Team (JIPT).

¹⁴⁴ FAA, 2008, 2008a.

¹⁴⁵ Für zivile UAV kann die FAA ein besonderes Lufttüchtigkeitszeugnis der experimentellen Kategorie ausstellen, für öffentliche UAV ein Zertifikat der Autorisierung oder eine Befreiung, FAA, 2008b.

¹⁴⁶ Das Traffic Alert and Collision Avoidance System (TCAS) stellt anhand von Transponderabfragen fest, ob ein anderes Luftfahrzeug auf einem Kollisionskurs ist, warnt davor akustisch und gibt ggf. Anweisung zum Steigen bzw. Sinken.

¹⁴⁷ Bryner, 2007.

¹⁴⁸ Bryner, 2007; Zeitlin, 2007.

¹⁴⁹ Ein experimenteller Prozessor hat 21 kg und verbraucht 550 W; miniaturisierte Systeme würden dann auch in größere UAV eingebaut, Bryner, 2007.

Die Working Group 73 zu UAV (2006 gegründet) der europäischen Vereinigung für Zivilluftfahrtgerät EUROCAE hat eine Untergruppe zu „Sense and Avoid“, die für Empfehlungen zum Luftverkehr in den USA zuständige Organisation RTCA hat im Special Committee 203 (zu UAS, 2004 gegründet) eine Working Group zu „Detect, Sense and Avoid“.¹⁵⁰ Beide koordinieren sich bei der Normenentwicklung seit 2007 und arbeiten in der ICAO-Studie zu UAS mit. Die Internationale Zivilluftfahrt-Organisation (ICAO), eine Unterorganisation der UNO, hat ab 2006 eine informelle Arbeitsgruppe zu UAS gehabt, 2008 wurde die Unmanned Aircraft System Study Group (UASSG) eingerichtet.¹⁵¹

Ein von der EU gefördertes Forschungsprojekt untersuchte die vollständige Automatisierung des Luftverkehrs: Innovative Future Air Transport System (IFATS).¹⁵² Das Konsortium bestand aus 11 Partnern (aus Deutschland war das DLR beteiligt) und arbeitete von 2004 bis 2007. Das Konzept sieht vor, Flugzeuge mittels ausgefeilter Sensor- und Rechnersysteme ohne Piloten fliegen zu lassen, wobei Bediener am Boden für die Gesamtlage verantwortlich sind und intensive Datenkommunikation zwischen Flugzeugen sowie Bodenstationen stattfindet.

Grundsätzliche Kritik an der UAV-Integration gibt es nicht, alle Beteiligten unterstützen die Bemühungen um Integration und arbeiten an Lösungen. Die internationalen Vereinigungen der Fluglinien-Pilotenvereinigungen (IFALPA) und der Fluglotsen-Vereinigungen (IFATCA) sprechen sich nicht gegen UAS im kontrollierten Luftraum aus, betonen aber stark, dass für sie dieselben Regeln gelten müssen wie für Flugzeuge mit Pilot(inn)en; irgendwelche Sonderregeln dürften nicht eingeführt werden. Das gelte etwa für die Sicherheit, für die Änderung der Bahn auf Anordnung der Flugsicherung, für die Verzögerung zwischen Anweisungen der Flugsicherung und ihrer Ausführung oder auf die Beachtung der Signale auf den Rollwegen eines Flugplatzes. Bis dahin sollen UAS auf gesperrten Luftraum beschränkt bleiben.¹⁵³ Die deutsche Vereinigung Cockpit fordert Ähnliches seit 2005, aber nur für militärische UAV und UAV für Sonderaufgaben, sie lehnt Bestrebungen, Passagier- und Frachttransport unbemannt durchzuführen, kategorisch ab.¹⁵⁴ Der Grund ist, „dass eine noch so ausgereifte Technik die

¹⁵⁰ Hawkes, 2007; Walker, 2007.

¹⁵¹ van Blyenburgh, 2007c; Udovic, 2008. An der UASSG nehmen 14 Länder teil, darunter Deutschland; 3 Arbeitsgruppen wurden eingerichtet.

¹⁵² <http://www.ifats-project.org> (13. 6. 2008). S. auch Rediess/Garg, 2006.

¹⁵³ Mueller-Nalbach, 2007; Baumgartner, 2007.

¹⁵⁴ Vereinigung Cockpit, 2005.

Handlungsfähigkeit des Menschen – gerade in komplexen, sicherheitskritischen Situationen – nicht akzeptabel ersetzen kann“.¹⁵⁵

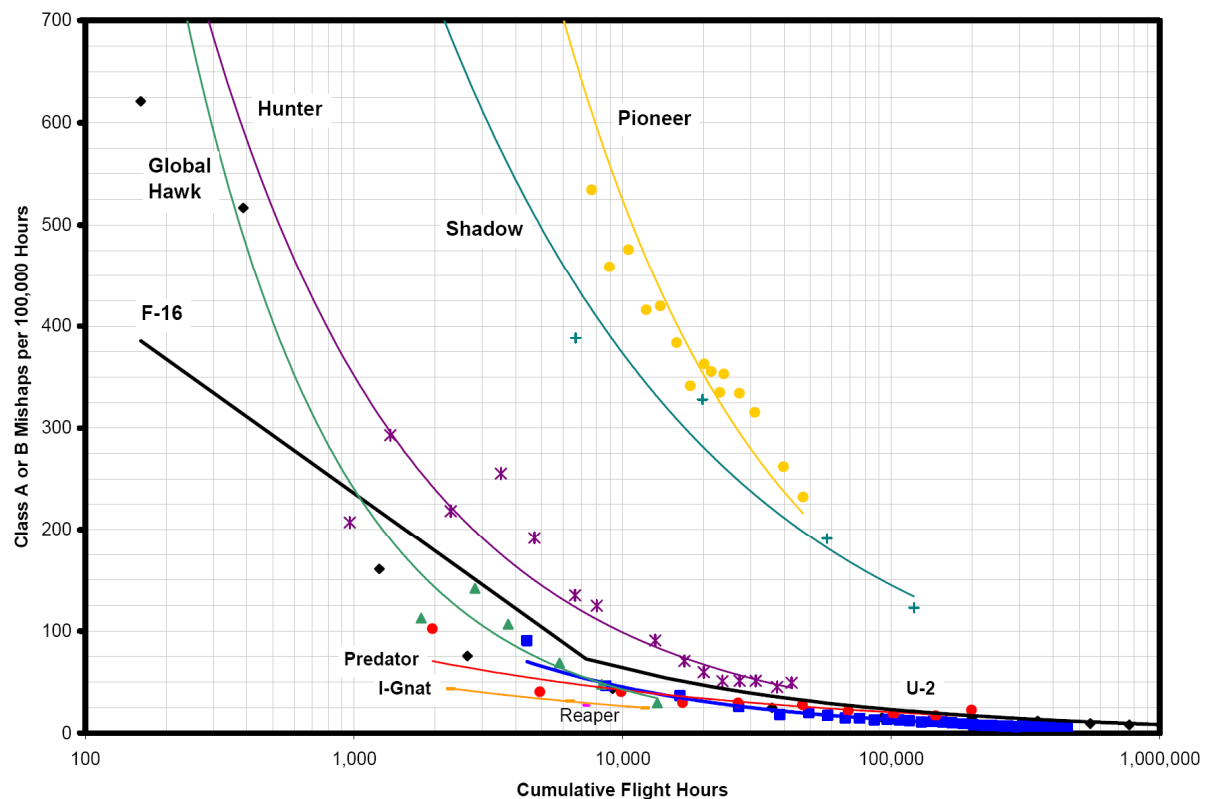


Abbildung 2-3 Unfallrate für UAVs über kumulierten Flugstunden im Vergleich mit den bemannten Militärflugzeugen F-16 und U-2 für den Zeitraum 1986-2006¹⁵⁶

2.4.3 Unfälle mit UAV

Weil bisher nur UAV im großen Maßstab eingesetzt wurden, gibt es nur für sie Unfallstatistiken. Die allgemeine Forderung für Zulassung in den normalen Luftverkehr ist, dass sie vergleichbar sicher fliegen wie bemannte Flugzeuge. Bei letzteren geschehen im Mittel etwa 0,5 Zusammenstöße in der Luft pro 100.000 Flugstunden.¹⁵⁷ Die Rate schwerer Unfälle (Klasse A) insgesamt liegt bei 1 pro 100.000 Flugstunden, bei Regionalflugzeugen ist sie etwa 1/10 davon, bei großen Passagierflugzeugen etwa 1/100.¹⁵⁸

¹⁵⁵ Detailliertere Argumente und Beispiele gibt Mildenerberger, 2007, s. auch Mildenerberger/Ewers, 2008. Piloten gelang es z.B., das Flugzeug trotz Totalausfall der Hydraulik mit differenziellem Schub zu steuern und zu landen. Die Ablehnung gilt ausdrücklich auch für das IFATS-Konzept.

¹⁵⁶ Aus Department of Defense, 2007: Section A.3.2.1. Die Bildunterschrift spricht nur von Klasse-A-Unfällen, genauso ist es in der entsprechenden Abbildung und Tabelle in OSD, 2005: S. H-3. Daher ist davon auszugehen, dass sich die Klasse B in der Achsenbeschriftung auf solche UAV bezieht, deren Verlust unter 1 Mio. \$ Schaden bedeutet.

¹⁵⁷ OSD, 2004: S. 25 ff.

¹⁵⁸ OSD, 2005: S. H-2. Ein Unfall ist in Klasse A bei Verlust des Flugzeugs, von Menschenleben oder bei Schaden über 1 Mio. \$ (UAV-Verlust mit niedrigeren Kosten zählt als Klasse B).

Bisher passierten Aus- und Unfälle bei den größeren unbemannten Flugzeugen einige 10 bis einige 100 mal so häufig wie bei bemannten Militärflugzeugen. In den letzten Jahren hat sich diese Rate aber verbessert.¹⁵⁹ Abbildung 2-3 zeigt, wie sich die Unfallraten von UAVs verschiedener Typen im Vergleich zum F-16-Kampfflugzeug und dem U-2-Aufklärungsflugzeug mit der zunehmenden Anzahl von Flugstunden entwickelt haben. 2003 lagen sie bei F-16 und U-2 bei 4,1 bzw. 6,8 pro 100.000 Flugstunden; bei Predator betrug die Rate 20, bei Hunter 47 (24 nach Verbesserungen 1996), bei Global Hawk 88, bei Pioneer 281 und bei Shadow 191 pro 100.000 Flugstunden.¹⁶⁰ Die Zuverlässigkeit soll durch technische Maßnahmen, strenge Normen und Redundanz erhöht werden.

2.4.4 Zugänglichkeit von Technologien für substaatliche Akteure, terroristische Nutzung von UMS¹⁶¹

Bei der Frage, inwieweit substaatliche Akteure UMS für illegale bzw. terroristische Zwecke nutzen könnten, sind auf kurze und mittlere Sicht v.a. UAS relevant, UUS/USS und UGS werden erst deutlich später verfügbar werden. Bei UGS stehen zwar schon jetzt Modell-Kraftfahrzeuge aus dem Hobby-Bereich zur Verfügung, aber sie werden schon durch leichte Hindernisse aufgehalten. Auch auf dem Wasser gibt es Modelle, sie wären aber nur in besonderen Fällen für illegale Handlungen geeignet – die Nutzlast ist begrenzt, die erreichbaren Orte sind stark eingeschränkt.

Bei UAS lassen sich verschiedene Ebenen betrachten.¹⁶² Was Zugriff auf gesamte Luftfahrzeuge angeht, gilt, dass militärische UAVs unter Verschluss und bewacht sind. Große UAV brauchen besondere Start-, Steuer- u.a. Systeme – beide Kategorien sind also nur sehr schwer zugänglich.

Selbstbau eines größeren UAV oder Marschflugkörpers stellt hohe Anforderungen an die Systemintegration. Das Do-it-yourself-Projekt eines neuseeländischen Ingenieurs, der demonstrieren wollte, dass man einen Marschflugkörper für 5000 \$ bauen kann (unter Verwendung von Standardkomponenten), wurde von der Regierung gestoppt.¹⁶³ Daher ist seine Aussage zunächst nicht belegt. Modifikation eines größeren Schiffszielflugkörpers, etwa des chinesischen Silkworm, für Landangriffe ist leichter als Neukonstruktion.¹⁶⁴

¹⁵⁹ Department of Defense, 2007: Section A.3.2.1.

¹⁶⁰ OSD, 2005: S. H-2.

¹⁶¹ S. auch Abschnitt 4.3.3.

¹⁶² Miasnikov, 2005.

¹⁶³ Simpson, 2008.

¹⁶⁴ Gormley 2003, 2005, 2006.

Zivile kleine Flugzeuge und erst recht Leichtflugzeuge gibt es in großer Zahl. Sie könnten mit einem Flight Management System auf automatische Steuerung umgestellt werden, jedoch nicht für Start und Landung. Das Verfahren heimlich zu erproben, wäre sehr schwierig.

Sehr leicht ist der Zugriff auf Modellflugzeuge; sie sind, einschließlich der Antriebe, breit zu günstigen Preisen verfügbar, dasselbe gilt für Hobby-Fernsteuerungen. Mit letzteren kann man im Wesentlichen auf Sicht steuern – Grenzen ergeben sich durch die Sehentfernung und der Sendereichweite. Größere Reichweite wäre möglich, wenn das Bild einer Videokamera zur steuernden Person übertragen würde, aber das ist durch die auf dem Modell mögliche Sendeleistung beschränkt. Alternativ kann man eine automatische Flugsteuerung verwenden, die einprogrammierte Wegpunkte ansteuert. Was dabei an Ausdauer möglich ist, hat 2003 der 39 Stunden dauernde Flug eines 5-kg-Modells von Kanada nach Irland demonstriert. Über dem Atlantik wurde das Flugzeug automatisch gesteuert, Start und Landung erfolgten ferngesteuert auf Sicht.¹⁶⁵

Die Schwierigkeit bei der Flugsteuerung wird sich mit dem Aufkommen von Firmen, die UAV-Komponenten anbieten, erheblich verringern, z.B. bietet die kanadische Firma Micro-Pilot einen UAV-Autopiloten für 5.500 \$ an, dessen Masse nur 28 g beträgt.¹⁶⁶ Ein ähnliches deutsches Modell (MINC) hat 22 g Masse plus 16 g für den GPS-Empfänger, angeboten werden auch Steuerungssoftware und ein Trägheitsmesssystem.¹⁶⁷ Eine französische Luftfahrtuniversität betreibt das „Paparazzi“-Projekt zum freien Selbstbau eines Autopiloten für Modellflugzeuge.¹⁶⁸

2.4.5 Proliferation

Auch bei der Frage der Proliferation sind zunächst v.a. UAS relevant. Möglicherweise können sich ähnliche Entwicklungen mit 10-20 Jahren Verzögerung auch bei UGS, USS und UUS zeigen. Schon jetzt werden UAS von über 50 Ländern hergestellt. Grundsätzlich gilt: Wer bemannte Flugzeuge bauen kann, kann auch unbemannte bauen. Dabei bestehen offensichtlich große Unterschiede zwischen auf Sicht ferngesteuerten Mini-UAV und HALE-UAV mit autonomem Flug und weltweiten Kommunikationsverbindungen. Es ist aber abzusehen, dass ohne gezielte Begrenzungsmaßnahmen UAV sowohl horizontal als auch vertikal proliferieren werden – sich also in mehr Länder verbreiten und immer höhere Fähigkeiten bekommen werden. Das kann über Exporte von kompletten Systemen, Komponenten oder Technologien

¹⁶⁵ Sohn, 2003.

¹⁶⁶ <http://www.micropilot.com> (30. 5. 2008).

¹⁶⁷ <http://mavionics.de> (30. 5. 2008).

¹⁶⁸ ENAC, 2008

geschehen. Auch eigenständige Entwicklung ist möglich, als Zwischenform Kooperation eines noch nicht so fähigen Landes mit einem fortgeschrittenen.

Die Proliferation wird dadurch erleichtert, dass Technologien (von Luftfahrzeugen, Datenverarbeitung, Sensoren usw.) in zunehmendem Maß Dual-Use-fähig werden. Wenn UAV verstärkt zivil, insbesondere kommerziell, genutzt werden sollten, würde Proliferation erheblich erleichtert und gefördert.

2.5 Zusammenfassende Bewertung

Bei allen gezielten Bemühungen in FuE für militärische UMS bleiben doch eine Reihe von Grenzen sichtbar. Einige sind prinzipieller Natur (s. auch Abschnitt 1.5.1):

- Kleine und kleinste UAV sind aerodynamisch instabiler und in der Geschwindigkeit begrenzt (Ausnahme: Raketenantrieb).
- Flug in sehr großer Höhe bedingt sehr große Tragflächen und sehr leichte Bauweise mit entsprechend empfindlicher Struktur.

Bei anderen Problemen ist unklar, ob sie in den nächsten zwei Jahrzehnten gelöst werden können. Das gilt v.a. für die folgenden:

- Energiespeicher für kleine und kleinste Systeme – v.a. elektrische Batterien – haben begrenzte Kapazität.
- Kann man sichere und verlässliche Datenverbindungen mit hoher Datenrate zu vielen UMS gewährleisten?
- Autonomes Verhalten stellt hohe Anforderungen, insbesondere bei Landfahrzeugen im Gelände. Große Schwierigkeiten gibt es für UMS in allen Medien, wenn viele UMS ihre Aktivitäten untereinander oder mit bemannten Fahrzeugen koordinieren sollen. Angemessenes Verhalten in einer Gefechts Umgebung ist schon bei manchen asymmetrischen Situationen schwer zu erreichen, in mehr oder weniger symmetrischen Situationen steigen die Schwierigkeiten noch.

In allgemeiner Hinsicht können verschiedene Feststellungen getroffen werden:

- Nach langer Zeit z.T. unstrukturierten/unsystematischen Vorgehens in Robotik und bei UMS gibt es in den USA nun intensive Bemühungen um systematische, vereinheitlichte Aktivitäten, insbesondere auch Teilstreitkräfte übergreifend. Die angestrebten militärischen Fähigkeiten und erforderlichen FuE-Arbeiten werden definiert.
- Das US-Militär setzt sich für UMS hohe Ziele. Es ist ungewiss, ob sie in den angegebenen Zeiten erreicht werden können. Besonders bei Landfahrzeugen zeigen sich erhebliche tech-

nische oder grundsätzliche Hindernisse. Auch ist möglich, dass einige Ziele zwar prinzipiell erreichbar sein werden, sich die Fahrzeuge aber für den Routineeinsatz (sehr wichtige Spezialoperationen möglicherweise ausgenommen) als zu wenig wirksam oder zu teuer erweisen werden.

- Was die USA entwickeln, erproben und einführen, bildet für andere Länder Motivationen, Ähnliches zu entwickeln oder zumindest zu beschaffen.
- Andere Länder sind bei UMS-FuE nicht weiter als die USA. Die Erfahrungen bei UAV zeigen aber, dass viele Länder mit gewisser Verzögerung zur Entwicklung ähnlicher eigener Systeme in der Lage sind. Solche Proliferation wird durch die zunehmende Miniaturisierung von Elektronik und Rechnern sowie die zunehmende Dual-Use-Fähigkeit von anderen Komponenten noch erleichtert werden.
- Dem Schwierigkeitsgrad der Beherrschung relevanter Technologien entsprechend ist bei Streitkräften verschiedener Länder derselbe Trend zu beobachten bzw. zu erwarten: Zunächst werden UAV entwickelt und eingeführt, dann ggf. USV/UUV und schließlich UGV.
- Weltweit gibt es Bemühungen, UAV im normalen Luftverkehr zuzulassen. Die Hauptschwierigkeit liegt beim Erkennen von und Ausweichen vor anderen Luftfahrzeugen. Alle Beteiligten (Unternehmen, Behörden, Flugsicherung usw.) stehen dem Anliegen positiv gegenüber und versuchen, zu zügigen Lösungen beizutragen.
- Auch wenn als Begründung dafür oft zivile Nutzungen genannt werden, sind gegenwärtig die Hauptbefürworter und Hauptnutznießer die Streitkräfte, und das wird wahrscheinlich noch auf mindestens ein bis zwei Jahrzehnte so bleiben.
- Die Hauptaufgaben von UAV – mit Ausnahme von Marschflugkörpern – werden auch in Zukunft Aufklärung und Überwachung sein. Bei UGV zeichnet sich noch nicht ab, ob die gegenwärtig wichtigsten Einsatzfelder – Minenräumen, Bombenentschärfung – durch neue Felder, etwa Transport in gefährlichem Terrain, abgelöst werden. Bei USV und UUV ist die Entwicklung noch schwieriger vorherzusagen. Neben der Minenräumung und der Aufklärung wird auch das Bekämpfen von Zielen (u.a. mit Torpedos) in Zukunft eine der Hauptaufgaben bleiben bzw. werden.
- Bei den Marinen werden nur relativ kleine USV (bis etwa 10 m) und UUV (einige m) eingeführt werden. Große Überwasserschiffe und U-Boote werden die Hauptsysteme bleiben, und sie werden weiterhin eine menschliche Besatzung haben.
- Auch bei für mehrfache Verwendung vorgesehenen militärischen UMS in allen Medien ist Bewaffnung ausdrücklich vorgesehen, perspektivisch auch autonomes Zielen und Auslösen

von Waffen. Das US-Verteidigungsministerium sieht die (völkerrechtlichen, politischen u.a.) Schwierigkeiten, wenn technische Systeme über Waffeneinsatz entscheiden. Sie sollen durch zunächst langsames Vorgehen überwunden werden. Eventuell wird es sich als nötig erweisen, auf längere Zeit die Entscheidung bei einem Menschen zu belassen. Jedoch sind perspektivisch viele Situationen vorstellbar, in denen ein Mensch in der Entscheidungsschleife zu große Verzögerung bringen würde.

- Das Komitee für Army-UGV hat die Fähigkeit von UGV, verlässlich Kombattanten und Nicht-Kombattanten unterscheiden zu können, auf 2025 datiert, wobei unklar ist, ob das schon zu dieser Zeit möglich sein wird. Das bedeutet, dass das humanitäre Völkerrecht mit bewaffneten UMS nur eingehalten werden kann, wenn zumindest bis zu diesem Zeitpunkt keine autonome Waffenauslösung eingeführt wird. (Ausnahmen sind denkbar, wenn die Ziele klar militärische Fahrzeug auf See und in der Luft sind, bei denen die Unterscheidung einfach ist.)
- Auch Kleinst-UMS werden angedacht und sind in FuE.
- Der Trend geht zu UAVs, die modular oder als Plattformen angelegt sind. Sie können mit verschiedenen Teil- bzw. Nutzlasten bestückt werden, z.T. auch an außen liegenden Aufhängungen. Hier Sensorik durch Waffen zu ersetzen, wird keine größeren technischen Problem stellen. Eventuelle höhere Anforderungen an die Zuverlässigkeit der Steuerverbindung können ebenfalls erfüllt werden.
- Von vornherein für den Kampf ausgelegte UAV-Plattformen mit Nutzlasten, Reichweiten und Geschwindigkeiten ähnlich wie bei herkömmlichen Kampfflugzeugen sind in einer Reihe von Ländern als Technologiedemonstratoren in Entwicklung und könnten als UCAV in 10-20 Jahren breit eingeführt werden.
- Bei der Vielzahl an Hersteller- und Exportländern ist davon auszugehen, dass UAV noch erheblich weiter verbreitet werden. Ohne internationale Rüstungs- und Exportkontrollmaßnahmen wird das mit vielleicht 10 Jahren Verzögerung auch bei bewaffneten UAV zutreffen, später – wenn sie sich als genügend leistungsfähig und kostengünstig erweisen – auch bei bewaffneten UGV sowie in geringerem Maß auch bei USV und UUV.
- Während die größeren Systeme regulären Streitkräften vorbehalten bleiben werden, ist zu erwarten, dass kleinere (z.B. 0,2 bis 2 m große) UUV (mit Kosten zwischen 1.000 und 100.000 €) auch für nicht-staatliche Akteure zugänglich sein werden. Das wird zunächst wohl UAV betreffen, dann aber auch UGV und UUV, eventuell auch USV. Sie können die Systeme einerseits durch Export aus Herstellerländern erhalten, andererseits aber auch aus

Komponenten zusammenstellen, die im Zuge des allgemeinen technischen Fortschritts und einer breiteren Verwendung kleiner UMS kleiner, leichter und billiger werden.

- Die US-Streitkräfte haben militärische Gegenmaßnahmen gegen ihre UMS z.T. im Blick: Stören oder Übernehmen der Kontrolle wird als Möglichkeit gesehen und soll durch entsprechende Systemauslegung verhindert oder erschwert werden.
- Auch beachten die US-Streitkräfte die allgemeine Bedrohung für die eigenen UMS, v.a. auch ihre Kampf-UMS, durch gegnerische Waffen.
- UMS von militärischen Gegnern werden dagegen noch nicht ins Auge gefasst, die vorgestellten Szenarien scheinen von klarer technologischer Überlegenheit bei UMS geprägt zu sein.
- UMS von nicht-staatlichen Akteuren sind bei den USA noch kaum im Blick, nur der terroristische Einsatz mit Massenvernichtungswaffen erfährt eine gewisse Aufmerksamkeit.
- Mögliche Probleme für Frieden und internationale Stabilität durch UMS werden nicht ins Auge gefasst.
- Dass UMS von einigen Rüstungsbegrenzungsverträgen betroffen sein können, ist in manchen US-Dokumenten zu UMS zumindest als Merkpunkt vorhanden. Zusätzliche Begrenzungen werden nicht betrachtet, die eigene militärische Handlungsfähigkeit soll nicht eingeschränkt werden.

Literatur zu Kapitel 2

- AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics), 2006: The Versatile Affordable Advanced Turbine Engines (VAATE) Initiative – An AIAA Position Paper, Reston VA: AIAA, <http://pdf.aiaa.org/downloads/publicpolicypositionpapers/VAATE.pdf> (25. 4. 2008).
- air-attack, 2007: EADS Barracuda, <http://www.air-attack.com/page/75/Barracuda.html> (8. 5. 2008).
- Albus, J.S., Meystel, A.M., 2001: Engineering of Mind: An Introduction to the Science of Intelligent Systems, New York NY: Wiley.
- Altmann, J. 2001: Military Uses of Microsystem Technologies – Dangers and Preventive Arms Control, Münster: agenda.
- Altmann, J. 2002: Technologien und technische Systeme für die militärische Anwendung im Weltraum – Bestandsaufnahme und Trends sowie technologiespezifische Fragen von Rüstungsbegrenzung bei Weltraumsystemen und ihrer Verifikation, Gutachten für den Deutschen Bundestag, vorgelegt dem Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag.
- Altmann, J., 2006: Military Nanotechnology: Potential Applications and Preventive Arms Control, Abingdon/New York: Routledge.
- Barnes, D., 2007: UAVS Association – Activity Update, in van Blyenburgh, 2007.
- Baumann, A., 2007: INOUI – A Roadmap To the Future of UAS, in van Blyenburgh, 2007.
- Bryner, D., 2007: Developing Sense & Avoid For All Classes of UAS, in van Blyenburgh, 2007.
- BWB (Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung), 2007: Vertragsabschluss: Euro-Hawk-Entwicklung kann beginnen, <http://www.bwb.org/01DB022000000001/vwContentByKey/W26Y59CG439INFODE> (28. 5. 2008).
- Clough, B.T., 2002: Metrics, Schmetrics! How the Heck Do You Determine A UAV's Autonomy Anyway?, Proceedings of the Performance Metrics for Intelligent Systems Workshop, Gaithersburg, Maryland, http://www.isd.mel.nist.gov/research_areas/research_engineering/Performance_Metrics/PerMIS_2002_Proceedings/Clough.pdf (10. 4. 2008).

- Committee on Materials, Structures, and Aeronautics for Advanced Uninhabited Air Vehicles (National Research Council), 2000: Uninhabited Air Vehicles – Enabling Science for Military Systems, Washington DC: National Academies Press.
- Committee for the Review of ONR’s Uninhabited Combat Air Vehicles Program (National Research Council), 2000: Review of ONR’s Uninhabited Combat Air Vehicles Program, Washington DC: National Academies Press.
- Committee on Army Ground Vehicle Technology (National Research Council), 2002: Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles, Washington DC: National Academies Press.
- Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations (National Research Council), 2005: Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, Washington DC: National Academies Press.
- DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency), 2007: DARPA’s Strategic Plan, <http://www.darpa.mil/body/pdf/DARPA2007StrategicPlanfinalMarch14.pdf> (7. 4. 2008).
- DARPA-DSO, 2008: Defense Sciences Office – Strategic Thrusts, <http://www.darpa.mil/dso/thrusts/index.htm> und dortige Verknüpfungen (24. 9. 08).
- DARPA-IPTO, 2008: Information Processing Techniques Office – Thrust Areas, http://www.darpa.mil/ipto/thrust_areas/thrust_areas.asp und dortige Verknüpfungen (24. 9. 08).
- DARPA-MTO, 2008: Microsystems Technology Office – Inventing the Future, <http://www.darpa.mil/mto/about/index.html> und dortige Verknüpfungen (24. 9. 08).
- DARPA-MTO, 2008a: Microsystems Technology Office, Programs, <http://www.darpa.mil/mto/programs/expanded.html> (24. 9. 08).
- DARPA-STO 2008: Strategic Technology Office – Our Mission, <http://www.darpa.mil/sto/> und dortige Verknüpfungen (24. 9. 08).
- Department of Defense, 2001: Space Technology Guide, FY 2000-01, Washington DC: Office of the Secretary of Defense.
- Department of Defense, 2007: UMS Roadmap 2007-2032, Washington DC: US Department of Defense.
- Department of Defense, 2007a: Procurement Programs (P-1), Department of Defense Budget Fiscal Year 2008, Washington DC: Office of the Under Secretary of Defense (Comptroller), February 2007, http://www.defenselink.mil/comptroller/defbudget/fy2008/fy2008_p1.pdf (9. 5. 2008).

- Department of the Navy, 2004: The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan, Washington DC: Department of the Navy, <http://www.navy.mil/navydata/technology/usvmppr.pdf> (25. 4. 2008).
- Department of the Navy, 2007: USV Master Plan, Washington DC: Department of the Navy, <http://www.navy.mil/navydata/technology/usvmppr.pdf> (30. 3. 2008).
- EADS, 2005: EADS baut Barracuda, Luft- und Raumfahrt, Nr. 5, 2005, 24-25.
- EADS, 2006: Advanced UAV Demonstrator, <http://www.eads.net/800/en/businet/defence/mas/projects/barracuda/barracuda.html> (28. 5. 2008).
- EADS, 2007: EuroHawk, <http://www.eads.com/1024/de/businet/defence/mas/uav/hale/hale.html> (28. 5. 2008).
- EASA (European Aviation Safety Agency), 2008: About EASA – Events (Workshop 1 Febr. 2008), http://www.easa.eu.int/ws_prod/g/g_events.php (28. 5. 2008).
- Egozi, A., 2008: Israel special – Israel broadens UAV use with advanced designs, Flight International, 11 Febr. 2008, <http://www.flightglobal.com/articles/2008/02/11/221444/israel-special-israel-broadens-uav-use-with-advanced-designs.html> (12. 6. 2008).
- ENAC (Ecole Nationale de l'Aviation Civile), 2008: The Paparazzi Project, http://paparazzi.enac.fr/wiki/index.php/Main_Page (30. 5. 2008)
- Eurocontrol, 2008: UAV-OAT Task Force, http://www.eurocontrol.int/mil/public/standard_page/uavtf.html (21. 5. 2008).
- FAA (Federal Aviation Administration), 2007: Unmanned Aircraft Program Office (UAPO) – Unmanned Aircraft Systems Roadmap, 16 May 2007, http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/air/hq/engineering/uapo/map/ (8. 4. 2008).
- FAA (Federal Aviation Administration), 2008: Unmanned Aircraft Program Office, http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/air/hq/engineering/uapo (6. 6. 2008).
- FAA (Federal Aviation Administration), 2008a: FAA UAS News Summary for 2007, http://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/avs/offices/air/hq/engineering/uapo/news/ (6. 6. 2008).
- FAA (Federal Aviation Administration), 2008b: Unmanned Aircraft Systems (UAS) – Certifications and Authorizations, http://www.faa.gov/aircraft/air_cert/design_approvals/uas/cert/ (6. 8. 2008).
- Fargeon, C., Lefaudeux, F., 2007: Conseil Général d'Armement (CGArm) – UAV Systems for Security & Environmental-Related Purposes, in van Blyenburgh, 2007.

- FCS (Future Combat System) 2006: Program Manager, Future Combat System (Brigade Combat Team) (FCS (BCT)), White Paper, 11 April 2006, [http://www.army.mil/fcs/whitepaper/FCSWhitepaper\(11_Apr_06\).pdf](http://www.army.mil/fcs/whitepaper/FCSWhitepaper(11_Apr_06).pdf) (5. 2. 2007).
- FCS (Future Combat System), 2008: What is Future Combat Systems?, <https://www.fcs.army.mil/systems> (5. 6. 2008).
- FCS (Future Combat System), 2008a: Systems Overview, <https://www.fcs.army.mil> (7. 4. 2008).
- GAO (Government Accountability Office), 2005: U.S. Government Accountability Office, Testimony Before the Subcommittee on Airland, Committee on Armed Services, U.S. Senate, Defense Acquisitions – Future Combat Systems Challenges and Prospects for Success, Statement of Paul L. Francis, 16 March 2005, http://www.globalsecurity.org/military/library/report/gao/050401-fcs_gaoreport.pdf (8. 4. 2008).
- GAO (Government Accountability Office), 2008: Defense Acquisitions – Significant Challenges Ahead in Developing and Demonstrating Future Combat System’s Network and Software, GAO-08-409, Washington DC: U.S. Government Printing Office, <http://www.gao.gov/new.items/d08409.pdf> (7. 4. 2008).
- GAO (Government Accountability Office), 2008a: 2009 Is a Critical Juncture for the Army’s Future Combat System, GAO-08-408, Washington DC: U.S. Government Printing Office, <http://www.gao.gov/new.items/d08408.pdf> (7. 4. 2008).
- Glenn, I., 2007: UVS Canada Association – Another Phenomenal Year of Growth, in van Blyenburgh, 2007.
- Global Security, 2008: Future Combat Systems (FCS), <http://www.globalsecurity.org/military/systems/ground/fcs.htm> (5. 6. 2008).
- Gormley, D. M. 2003: UAVs and Cruise Missiles as Possible Terrorist Weapons, in: James Clay Moltz (ed.) New Challenges in Missile Proliferation, Missile Defense and Space Security, Occasional Paper No. 12, Juli 2003: Mountbatten Centre for International Studies.
- Gormley, D.M. 2005: Unmanned Air Vehicles as Terror Weapons: Real or Imagined?, NTI Issue Brief, Monterey: Center for Nonproliferation Studies, http://www.nti.org/e_research/e3_68a.html (20. 4. 2008).
- Gormley, D., 2006: Globalization and WMD Proliferation Networks: The Case of Unmanned Air Vehicles as Terrorist Weapons, Strategic Insights, vol. V (6), July 2006, <http://www.ccc.nps.navy.mil/si/2006/Jul/gormleyJul06.pdf> (30. 5. 2008).

- Grüne, M., et al., 2005: Grundlagen und militärische Anwendungen der Nanotechnologie, Bonn: Report.
- Hausen, W., 2007: NATO Joint Capability Group on UAVs, in van Blyenburgh, 2007.
- Hawkes, D., 2007: European Organization for Civil Aviation Equipment – EuroCAE WG-73: Unmanned Aircraft Systems, in van Blyenburgh, 2007.
- HLEG (High Level Expert Group) 2004: Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies, Report of a High-Level Expert Group, Nordmann A. (Rapporteur), Brussels: European Commission, in: ftp://ftp.cordis.europa.eu/pub/foresight/docs/ntw_report_nordmann_final_en.pdf (24. 9. 2008).
- Huang, H.-M., et al., A Framework For Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS), Proceedings of the AUVSI's Unmanned Systems North America 2005, Baltimore, June 2005, http://www.isd.mel.nist.gov/projects/autonomy_levels/publications/ALFUS-auvsi-7.pdf (24. 4. 2008).
- Huang, H.-M., 2006: The Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS) Framework: Interim Results, Proceedings of the Performance Metrics for Intelligent Systems (PerMIS) Workshop, August 2006, Gaithersburg, MD, http://www.isd.mel.nist.gov/projects/autonomy_levels/publications/PerMIS06.Final_Huang.pdf (24. 4. 2008).
- Intel, 2007: Intel® Xeon® Processor 5000 Sequence – HPC Benchmarks: Dense Floating Point – Dense Floating-point Operations Using Linpack, http://www.intel.com/performance/server/xeon/hpcapp.htm?iid=perf_server_lhn+dp_hpc (6. 8. 2008).
- Itagaki, T., 2007: Japan UAV Association – Update on UAS-Related Activities, in van Blyenburgh, 2007.
- Jane's, 2007: Jane's Unmanned Vehicles and Aerial Targets, Coulsdon: Jane's.
- JAPCC (Joint Air Power Competence Centre), 2008: Flight Plan for Unmanned Aircraft Systems (UAS) in NATO, http://www.japcc.de/fileadmin/user_upload/projects/nato_flight_plan_for_uas/Flight_Plan_Approach_5.4.pdf (12. 6. 2008).
- Koldaev, A.V., 2007: Non-Military UAS Applications, in van Blyenburgh, 2007.
- Koldaev, A., Sokut, S., 2006: Military Conservatism in Relation to Industry UAV Activities, in van Blyenburgh/Butterworth-Hayes, 2006.
- Lee, C.M., Gobat, J.I., 2006: Acoustic Navigation and Communication for High-Latitude Ocean Research Workshop, Eos, 87(27): pp. 268-269, 4 July 2006, http://anchor.apl.washington.edu/eos_reprint.pdf (27. 4. 2008).
- Lewandowski, P., 2007: NATO Joint Air Power Competence Centre – Update on UAS-Related Activities, in van Blyenburgh, 2007.

- Mahon, T., 2008: Europe's UCAV era – Unmanned warplanes move closer to reality, C4ISR Journal, 7 April 2008, <http://www.c4isrjournal.com/story.php?F=3376485> (28. 5. 2008).
- Miasnikov, E., 2005: Threat of Terrorism Using Unmanned Aerial Vehicles: Technical Aspects, Center for Arms Control, Energy and Environmental Studies, Moscow Institute of Physics and Technology, <http://www.armscontrol.ru/uav/UAV-report.pdf> (1. 6. 2008).
- Mildenberger, T., 2007: Future Automation in Air Transport, Presentation at 16th Workshop of UAVNet, Madrid, 18-19 Oct. 2007.
- Mildenberger T., Ewers, G., 2008: Unmanned does not mean un human, Synopsis of Presentation at avionics 08, 5/6 March 2008, Amsterdam, http://www.avionics-event.com/avionics/files/main_conference.new_linkmoreifalpa.1080104095418.doc (10. 6. 2008)
- Morier, Y., 2007: European Aviation Safety Agency (EASA) – Update on Activities Relative to UAS, in van Blyenburgh, 2007.
- NASA, 2008: Past Projects – Helios Prototype Solar-Powered Aircraft, <http://www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/Helios/> (25. 4. 2008).
- National Research Council, 2002: Future R&D Environments: A Report for the National Institute of Standards and Technology, Washington DC: National Academies.
- Nolte, W.L. 2003: Technology Readiness Calculator, <http://www.dtic.mil/ndia/2003systems/nolte2.pdf> (1. 4. 2008).
- ONR (Office of Naval Research), 2008: REMUS, <http://www.onr.navy.mil/media/extra/fact%5Fsheets/remus.pdf> (30. 3. 2008).
- OSD (Office of the Secretary of Defense), 2004: Airspace Integration Plan for Unmanned Aviation, November 2004, <http://www.acq.osd.mil/uas/docs/airspace2.doc> (12. 2. 2008)
- OSD (Office of the Secretary of Defense), 2005: UAS Roadmap 2005-2030, Washington DC.
- OUSD AT&L (Office of the Undersecretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics), Defense Systems: Land Warfare and Munitions, 2005: Joint Robotics Master Plan for FY 2005, Washington DC: Department of Defense.
- Overview, 2006: Features: China – Overview of UAV Activities, in van Blyenburgh/Butterworth-Hayes, 2006.
- Possel, H., 2007: European Defence Agency – UAV Systems – The View of the European Defence Agency, in van Blyenburgh, 2007.
- Raghuvanshi, V., 2005: India, Israel Partner To Develop Three New UAVs, Space News, 1 March 2005, <http://www.flightglobal.com/articles/2008/02/11/221444/israel-special-israel-broadens-uav-use-with-advanced-designs.html> (12. 6. 2008).

- Rediess, H.A., Garg, S., 2006: Autonomous civil aircraft – the future of aviation?, *Aerospace America*, July 2006, 40-43.
- Rheinmetall, 2008: Team Information (M-ELROB 2008), <http://www.fgan.de/~elrob2006/MELROB/2008/files/rde.pdf> (20. 3. 2008).
- Roco, M.C., Bainbridge, W.S., (eds), 2003: *Converging Technologies for Improving Human Performance – Nanotechnology, Biotechnology, Information Technology and Cognitive Science*, Boston etc.: Kluwer.
- Rogers, T., 2007: UVS New Zealand Australia, in van Blyenburg, 2007.
- Schwarz, K.: Barracuda Takes to the Air, *Flugrevue*, Juli 2006, p. 54, <http://www.flug-revue.rotor.com/FRheft/FRHeft06/FRH0607/FR0607g.htm> (28. 5. 2008).
- Shachtman, Noah, 2008: Army's \$200 Billion Reboot Fizzles; Murtha Wants \$20 Billion More, *Wired*, 10 March, 2008, <http://blog.wired.com/defense/2008/03/post.html> (7. 4. 2008).
- Simpson, B., 2008: A DIY Cruise Missile – Watch me build one for under \$5,000, <http://www.interestingprojects.com/cruisemissile> (16. 6. 2008).
- Snow, M., 2007: NATO FINAS – Necessity is the Mother of Invention, in van Blyenburgh, 2007.
- Sohn, E., 2003: Model Plane Flies the Atlantic, *Science News for Kids*, December 17, 2003, <http://www.sciencenewsforkids.com/articles/20031217/Feature1.asp> (16. 6. 2008).
- Soyer, C., 2007: NATO C3 Agency – UAV Autonomy: Are We on the Right Track?, in van Blyenburgh, 2007.
- SPAWAR (Space and Naval Warfare Systems Center), 2007: Robotics at Space and Naval Warfare Systems Center, San Diego, <http://www.spawar.navy.mil/robots> (7. 4. 2008).
- Sultana, J., Strong, M., 2007: Eurocontrol – Update on UAS-Related Activities, in van Blyenburgh, 2007.
- Thielert, 2008: Defense, <http://web.thielert.com/typo3/index.php?id=514&L=0> (25. 4. 08)
- Tran, P.: EADS' Barracuda UAV Splashes Down During Test, *Defense News*, 25 Sept. 2006, <http://www.defensenews.com/story.php?F=2128813&C=europe> (11. 4. 2007).
- Udovic, A., 2003: Unmanned Aerial Vehicle (UAV) – Simulation von Verfahren bei TE, TE im Fokus (DFS), Nr. 2, Nov. 2003, S. 10-14, http://www.dfs.de/dfs/internet/deutsch/inhalt/company_future/primaernavigation/das_unternehmen/sekundaernavigation/forschung_entwicklung/forschungszeitschrift/fokus_0203.pdf (21. 5. 2008).
- Udovic, A., 2007: UAS – Unmanned Aircraft Systems: Systemüberblick und DFS-Aktivitäten, TE im Fokus (DFS), Nr. 2, Dez. 2007, S. 14-19, <http://www.dfs.de/dfs/internet/>

- deutsch/inhalt/company_future/primaernavigation/das_unternehmen/sekundaernavigation/forschung_entwicklung/forschungszeitschrift/fokus0702.pdf (21. 5. 2008).
- Udovic, A., 2008: ICAO Unmanned Aircraft System Study Group (UASSG), Presentation at UAV DACH Conference at ILA 2008, Berlin-Schönefeld, 30 May 2008, http://www.uavdach.org/Dokumente/content/ILA/09_ICAO-UASSG-ILA08.pdf (10. 6. 2008).
- Unmanned, 2006: Unmanned Aviation in the United States in 2005-06, S. 121-125 in v. Blyenburgh/Butterworth-Hayes, 2006.
- van Blyenburgh, P. (ed.), 2007: UAS – Unmanned Aircraft Systems – The Global Perspective 2007/2008, Paris: Blyenburgh & Co.
- van Blyenburgh, P., 2007a: UVS International – Promoting International Cooperation, in van Blyenburgh, 2007.
- van Blyenburgh, P., 2007b: The Global Access Initiative, in van Blyenburgh, 2007.
- van Blyenburgh, P., 2007c: Preface, in van Blyenburgh, 2007.
- van Blyenburgh, P., Butterworth-Hayes, P. (eds.), 2006: UAV Systems – The Global Perspective 2006/2007, Paris: Blyenburgh&Co.
- van Doorn, J, Brochard, M., 2007: Eurocontrol Experimental Center, in van Blyenburgh, 2007.
- Vereinigung Cockpit, 2005: Policies – Unbemannte Luftfahrzeuge (UAV) im zivilen Luftraum, <http://www.vcockpit.de/policies.php?artikel=24> (6. 6. 2008).
- Walker, J., 2007: RTCA Special Committee 203 – Development and Progress of UAS Standards in the United States, in van Blyenburgh, 2007.
- Whitney, N., 2007: European Defence Agency, in van Blyenburgh, 2007.
- Zeitlin, A., 2007: Sense & Avoid Evaluation and Standards for Civil Airspace Access, in van Blyenburgh, 2007.

Anhang 2.1

Prioritäten bei militärischen Fähigkeitslücken, die durch UMS gefüllt werden könn(t)en¹⁶⁹

Tabelle 2-20 Prioritäten des Bedarfs für UGV, nach militärischen Ebenen aufgeschlüsselt

Einsatzbereich	Kompanie	Brigade-Kampfteams	Division
Aufklärung	1	1	1
Minensuche/Gegenmaßnahmen	2	2	2
Präzisionszielortung und -bezeichnung	3	3	5
CBRNE-Aufklärung	6	4	3
Bewaffnung/Kampf	4	6	6
Gefechtsmanagement	8	5	4
Kommunikation/Datenrelais	5	7	7
Funkaufklärung	7	8	8
Verdecktes Einbringen von Sensoren	9	9	10
Küsten-Kriegführung	13	10	9
Gegen-CCD	10	11	11

CBRNE: Chemische, biologische, radiologische, nukleare, Explosivstoff-Bedrohungen

CCD: camouflage, concealment, and decoys (Tarnung, Verbergen, Attrappen)

Tabelle 2-21 Prioritäten des Bedarfs für USV/UUV, nach Verdrängung aufgeschlüsselt (Verdrängung: Personen-tragbar: 11 bis 46 kg; leicht: etwa 220 kg mit nominell 0,33 m Durchmesser; schwer: etwa 1.400 kg mit 0,53 m Durchmesser, schließt U-Boot-kompatible Fahrzeuge ein; groß: etwa 10 Tonnen, kompatibel sowohl mit Überwasserschiffen als auch U-Booten)

Einsatzbereich	Personen-tragbar	leicht	schwer	groß
Nachrichtengewinnung, Überwachung, Aufklärung	1	1	1	1
Inspektion/Identifizierung	2	2	2	2
Minen-Gegenmaßnahmen	3	3	3	3
Nutzlast abliefern	8	7	4	7
CBRNE-Aufklärung	4	5	8	12
Verdecktes Einbringen von Sensoren	5	4	10	11
Überwasser-Küsten-Kriegführung	12	9	5	5
Neuversorgung Spezialkräfte	6	10	9	6
Kampf	14	8	7	8
Kommunikations-/Navigations-Netzwerkknotten	7	6	12	13
U-Boot-Bekämpfung auf hoher See	13	17	6	4
Informationsoperationen	11	11	13	10
Zeitkritischer Schlag	15	13	11	9
Erstellen digitaler Karten	9	12	15	14
Ozeanographie	10	16	16	15
Köder/Pfadfinder	16	15	14	17
Meeresboden-Topographie	17	14	17	16

CBRNE: Chemische, biologische, radiologische, nukleare, Explosivstoff-Bedrohungen

¹⁶⁹ Department of Defense, 2007: S. 21 f.

Tabelle 2-22 Prioritäten des Bedarfs für UAV, nach Größe bzw. Funktion aufgeschlüsselt (Startmasse klein: unter 25 kg, taktisch: 25 bis 600 kg, Kriegsschauplatz/Kampf: über 600 kg)

Einsatzbereich	klein	taktisch	Kriegsschauplatz	Kampf
Aufklärung	1	1	1	1
Präzisionszielortung und -bezeichnung	2	2	2	2
Funkaufklärung	7	3	3	4
Gefechtsmanagement	3	4	5	6
Kommunikation/Datenrelais	8	6	4	7
CBRNE-Aufklärung	5	5	9	8
Kampf-Such- und Rettungsdienst	4	7	8	9
Bewaffnung/Kampf	16	8	7	3
Elektronische Kriegführung	12	11	6	5
Minensuche/Gegenmaßnahmen	6	9	12	11
Gegen-CCD	10	10	11	12
Informationskriegführung	13	12	13	10
Erstellung digitaler Karten	15	14	10	14
Verdecktes Einbringen von Sensoren	11	15	15	13
Köder/Pfadfinder	9	13	18	16
Neuversorgung Team Spezialkräfte	14	16	14	15
GPS-Pseudolite ¹⁷⁰	18	17	17	17
Unterwasser-Küsten-Kriegführung	17	18	16	18

CBRNE: Chemische, biologische, radiologische, nukleare, Explosivstoff-Bedrohungen

CCD: camouflage, concealment, and decoys (Tarnung, Verbergen, Köder)

GPS:Global Positioning System

¹⁷⁰ Ein Pseudolite oder Pseudo Satellite ist eine Station in der Luft oder am Boden, die Navigationssignale aussendet, die von GPS-Empfängern in bis zu einigen 10 km für genauere/störsicherere Ortung als mit Satelliten benutzt werden können.

Anhang 2.2

Technologie-Bereitschaftsniveaus

Tabelle 2-23 Technologie-Bereitschaftsniveaus (Technology Readiness Levels) des US-Verteidigungsministeriums. Sie entstanden aus entsprechenden Stufen der NASA, und das Verteidigungsministerium hat noch Erläuterungen dazu herausgegeben (in Klammern die vom Verteidigungsministerium entfernten NASA-Begriffe):¹⁷¹

TRL 1	Basic principles observed and reported
TRL 2	Technology concept and/or application formulated
TRL 3	Analytical and experimental critical function and/or characteristic proof of concept
TRL 4	Component and/or breadboard validation in laboratory environment
TRL 5	Component and/or breadboard validation in relevant environment
TRL 6	System/subsystem model or prototype demonstration in a relevant environment (Ground or Space)
TRL 7	System prototype demonstration in an operational (space) environment
TRL 8	Actual system completed and (flight) qualified through test and demonstration (Ground and Space)
TRL 9	Actual system (flight) proven through successful mission operations

¹⁷¹ S. z.B. Nolte, 2003; TRL 1-6 auch in Committee, 2002: S. 49.

3 Ökonomische Aspekte der militärischen und zivilen Forschung und Entwicklung sowie Nutzung unbemannter Systeme (Modul 3)

3.1 Märkte für UMS: Gegenwärtige Größe und Struktur

3.1.1 Umsätze

Der weltweite Umsatz (Forschung, Entwicklung und Produktion) von in diesem Modul als UMS im engeren Sinne¹⁷² klassifizierte Systeme im Jahre 2006 lässt sich auf ca. 4,1 Mrd. € schätzen (siehe Tabelle 3-1). (Die wichtigsten Arten militärischer UMS, die gegenwärtig in der Produktion sind oder für die umsatzrelevante Forschung und Entwicklung betrieben wird, werden im Modul 2 beschrieben).

Tabelle 3-1 Weltweite Umsätze in UMS-Märkten und eng verwandten zivilen Märkten; Schätzungen für 2006, in Mrd. €

System	Militärisch	Zivil	Summe
Satelliten	25	15	40
UAV	2,9	0,1	3,0
USV/UUV	0,2	0,5	0,7
UGV	0,3	0,1	0,4
Summe	18,4	15,7	44,1

Quellen:

Satelliten (einschließlich Bodenkomponente, aber ohne Raketen und Satellitendienste): Eigene Schätzung auf der Grundlage von Space Foundation, Space Report 2007, 2007, <http://www.spacefoundation.org/TheSpaceReport07.pdf> (17. 8. 2007) und Satellite Industry Association: State of the Satellite Industry Report, [ohne Ort] 2007, S. 5ff. Dort wird der Umsatz der Satellitenindustrie weltweit mit 106 Mrd. US\$ für das Jahr 2006 angegeben. 11% des Umsatzes 2006 entfielen auf die Satellitenherstellung, 27 % auf die Bodenstationen.

Militärische UAV: Eigene Schätzung auf Grundlage von Teal Group, 2007, plus Schätzungen für weitere Länder. Verschiedene Quellen implizieren niedrigere und höhere Werte.

Zivile UAV: Eigene Schätzung.

UUV: Eigene Schätzung auf der Grundlage einer Teal-Studie und Angaben des DOD (siehe Text), <http://www.the-infoshop.com/study/kt51796-uuv-ugv.html> (17. 8. 2007).

UGV: Eigene Schätzung, siehe Text.

¹⁷² In diesem Modul werden Raketen, auch wenn sie steuerbar sind, Lenkwaffen, Marschflugkörper und Torpedos nicht betrachtet. Wirtschaftlich relevante Daten sind hier schwierig von denen für andere militärische Systeme zu unterscheiden, während für UAV im engeren Sinne deutlich mehr Informationen vorliegen. Die – bereits vorhandene oder potenzielle – zivile Bedeutung dieser Systeme, die primär auf Zerstörung angelegt sind, wiederum unterscheidet sich von der von UMS im engeren Sinne, bei denen die Mobilität im Vordergrund steht. Satelliten werden als Sonderklasse von Systemen berücksichtigt, da sie für die Fragen der zivilen Nutzung von besonderem Interesse sind. Zu Definitionsfragen siehe Kapitel 1.

Den größten Anteil daran haben militärische Unmanned Aerial Vehicles (UAV). Militärische Unmanned Sea/Underwater Vehicles (USV/UUV) und Unmanned Ground Vehicles (UGV) werden nur in sehr kleinen Stückzahlen von Streitkräften gekauft. Der Hauptumsatz ergibt sich hier durch Forschung. Der Umsatz von UMS im engeren Sinn ist gering im Vergleich zum Umsatz von militärischen Satelliten (MilSat), die in breiteren Definitionen ebenfalls zu den UMS gezählt werden können.

Forschung und Entwicklung kommt in allen genannten Teilmärkten für UMS eine herausragende Bedeutung zu, wenn auch bei militärischen UAV inzwischen die Produktion zu Umsätzen in ähnlicher Größenordnung wie die für Forschung und Entwicklung führt. Dies zeigt Tabelle 3-2 für den mit Abstand größten Markt für UAV, das US-amerikanische Verteidigungsministerium. Der militärische Umsatz im Bereich der USVs/UUVs ist mit knapp 50 Mio. US\$ im Jahre 2007 relativ gering.

Tabelle 3-2 Ausgaben in Mio. US\$ des Department of Defense für UMS, getrennt nach Land-, Luft- und Wassersystemen sowie nach Stadien (FuE, Beschaffung, Betrieb)¹⁷³

Medium	Stadium	FY07	FY08	FY09	FY10	FY11	FY12	FY13	Summe
UGS	FEEA	198,2	215,4	199,8	167,5	129,3	58,5	20,0	989
	Besch.	106,5	39,3	29,7	18,3	17,9	156,3	481,5	849
	BuW	156,0	5,7	8,8	10,3	11,0	12,1	12,7	217
UAS	FEEA	760,8	814,8	1.246,7	1.334,9	1.181,8	859,1	839,5	7.038
	Besch.	878,4	1.370,3	2.025,1	2.010,5	1.725,7	1.750,8	1.585,7	11.346
	BuW	590,0	352,3	367,7	421,2	458,8	501,5	552,0	3.244
USS/UUS	FEEA	43,8	22,7	34,5	77,0	86,0	101,9	131,9	498
	Besch.	1,7	2,7	3,2	4,8	40,8	25,0	25,1	103
	BuW	4,3	3,1	2,8	2,3	3,9	5,9	6,9	29
Summe		2.731,5	2.825,4	3.949,6	4.041,6	3.657,3	3.461,3	3.643,5	24.310

FY: Fiscal Year (Haushaltsjahr)

FEEA: Forschung, Entwicklung, Erprobung, Auswertung

Besch.: Beschaffung

BuW: Betrieb und Wartung

Quelle: Department of Defense, 2007: S. 10. Die dort in der letzten Zeile genannten und hier wiedergegebenen Zahlen weichen um 1 bis 30 Mio. US\$ nach oben oder unten von den Summen über die Spalten ab, d.h. im Promillebereich.

Die Umsätze von entsprechenden zivilen Systemen unterscheiden sich deutlich von denjenigen von militärischen Systemen. Während der Umsatz von zivilen Satelliten in ähnlicher Größenordnung wie der für militärische Satelliten liegt, ist er bei zivilen UAV sehr gering. In einer etwas älteren Studie wurde der zivile Markt auf einen Umsatz von 0,08 Mrd. US\$ pro Jahr geschätzt.¹⁷⁴ Hingegen ist der Umsatz von zivilen USV/UUV deutlich höher als der von militärische USV/UUV. Der kommerzielle Markt für drahtgelenkte zivile Unterwasserrobo-

¹⁷³ Die Sprünge zu erheblich niedrigeren Ausgaben von 2007 auf 2008 bei Beschaffung sowie Betrieb und Wartung von UGS werden in der Quelle nicht diskutiert. Trotz intensiver Suche in verschiedenen Haushaltsdokumenten der Army und des Department of Defense konnten die Gründe im Rahmen dieses Gutachtens nicht geklärt werden.

ter, in der einschlägigen Branche als ROVs (Remotely Operated Vehicles) bezeichnet, und für selbst steuernde Autonomous Underwater Vehicles (AUV) ist relativ groß. Insbesondere die Öl- und Gasindustrie – zunehmend auch Firmen, die auf dem Meeresboden nach Bodenschätzen suchen – sind wichtige Nachfrager. Auf der Grundlage einer Marktstudie von VisionGain¹⁷⁵ lässt sich der Umsatz von USV/UUV für das Jahr 2006 auf etwa 0,7 Milliarden € schätzen, weitgehend für zivile Verwendungen. Das Verhältnis des Umsatzes von ROVs zu AUVs im kommerziellen Bereich beträgt etwa 10 zu 1, das heißt, es werden deutlich mehr drahtgelenkte als autonome Systeme nachgefragt. Das Forschungsbudget der US Navy für UUVs betrug ca. 0,2 Mrd. US\$.¹⁷⁶ Da für andere Marinen, unter anderem die Deutsche Marine, nur kleinere Projekte für UUV bekannt sind, dürfte der zivile Umsatz bei ca. 0,5 Mrd. US\$ gelegen haben.

Die Umsätze für UGV sind gering.¹⁷⁷ Die Gesamtumsätze dürften unter 0,4 Milliarden US\$ liegen.¹⁷⁸ Den größten Anteil haben FuE für militärische Zwecke. Allein das US-amerikanische Verteidigungsministerium gibt über 0,2 Mrd. US\$ dafür aus. Im zivilen Bereich werden deutlich kleinere Umsätze zum einen mit Fahrzeugen erwirtschaftet, die zur Bombenentschärfung und in Katastrophenfällen eingesetzt werden sollen, und zum anderen mit der Forschung und Entwicklung von neuen Typen von UGV (siehe unten).

3.1.2 Struktur der Märkte

Der Anteil US-amerikanischer Hersteller am Markt für *Satelliten* (einschließlich Bodenkomponente, aber ohne Satellitendienstleistungen, siehe auch Tabelle 3-2) lag 2006 mit mehr als 20 Mrd. US\$ bei über 50 %.¹⁷⁹ Firmen in Mitgliedsstaaten der Europäischen Union (EU) setzten ca. 5 Mrd. € mit ca. 28.800 Beschäftigten um, was einem Anteil von ca. 16% am globalen Markt entspricht.¹⁸⁰ Der Anteil US-amerikanischer Firmen am militärischen Markt liegt mit über 60% höher als der am zivilen Markt, wo er nur ca. 40% beträgt. In der EU wird ca. 70 % des Umsatzvolumens mit zivilen Projekten getätigt.¹⁸¹

¹⁷⁴ Frost&Sullivan, 1998.

¹⁷⁵ VisionGain, 2007, nach <http://www.the-infoshop.com/study/kt51796-uuv-ugv.html> (17. 8. 2007).

¹⁷⁶ S. Dean, 2004.

¹⁷⁷ Deutlich größer ist der Markt für ortsbewegliche Industrieroboter, die allerdings nicht in freiem Gelände, sondern nur in vordefinierten Räumen, z.B. Lagerhallen, fahren. Zu Industrierobotern siehe weiter unten.

¹⁷⁸ <http://www.the-infoshop.com/study/kt51796-uuv-ugv.html> (17. 08. 2007).

¹⁷⁹ Satellite Industry Association, 2007, S. 5.

¹⁸⁰ Lionnet, 2007: S. 5, Tab.

¹⁸¹ Lionnet, 2007: S.6.

Tabelle 3-3 Die weltweit größten Hersteller von Satelliten; Umsätze in Mrd. US\$, 2006, einschließlich Transportsysteme aller Art für Satelliten (Raketen, Space Shuttle)

Lockheed Martin	9,8
Boeing	8,2
Northrop Grumman	5,0
EADS Space	4,2
Raytheon	4,2
Thales Alenia Space	2,2
Science Applications International	2,0
United Space Alliance	2,0
Garmin	1,8
Alliant Techsystem	1,5

Quelle: Space News, Top 50, 6. August 2007, www.space-library.com/0708SpaceNews_Top50_2006_final.pdf. (29. 7. 2008).

Der Markt für UAVs wird von US-amerikanischen Firmen dominiert. Nach einer Schätzung von Forecast International lag der Anteil US-amerikanischer Firmen 2005 bei deutlich über 80 Prozent.¹⁸² Der Anteil europäischer Firmen wird auf etwas über 8 Prozent geschätzt.¹⁸³ Den Rest teilen sich Hersteller aus einer großen Zahl von anderen Ländern. Der britische Fachinformationsdienst Jane's verzeichnet die Entwicklung von UAV aller Art in 52 Ländern und die Produktion von UAV aller Art in 46 Ländern (siehe Tabelle 3-4). Allerdings werden in vielen Fällen lediglich relativ einfache Fahrzeuge hergestellt.¹⁸⁴ Der Umfang des internationalen Handels mit UAV ist zur Zeit verglichen mit dem für bemannte Flugzeuge eher gering. Das gesamte Handelsvolumen dürfte, geschätzt auf der Grundlage von Daten des Stockholm International Peace Research Institute SIPRI, (allerdings nur für größere militärische UAV, siehe Anhang 3-1) bei ungefähr 0,5 Mrd. US\$ liegen (der Handel mit bemannten Flugzeugen liegt bei mehr als 15 Mrd. US\$). Quantitativ wichtigster Lieferant militärischer UAV ist Israel. Israelische militärische UAV sind in einer großen Zahl von Ländern im Einsatz. Die US-Dominanz im UAV-Markt ergibt sich – außer durch das Volumen des US-Marktes selber – durch das Übergewicht bei besonders komplexen und technisch anspruchsvollen Systemen. Die Zahl der Länder, aus denen große militärische UAV an andere Länder geliefert wurden, ist im Vergleich etwa zum Export von bemannten fliegenden Systemen gering (siehe Anhang 3-1). Auffällig ist vor allem, dass aus Russland, weltweit der zweitgrößte Exporteur, nach den Angaben von SIPRI keine großen UAV exportiert wurden. UAVs aller Art hingegen sind aus 20 Ländern exportiert worden (siehe Tabelle 3-4).

¹⁸² Forecast International, 2006: S. 2-3.

¹⁸³ Forecast International, 2006: S. 2-3.

¹⁸⁴ Jane's, 2007.

Tabelle 3-4 Nutzung, Entwicklung, Herstellung und Export von UAV; nach Staaten, sortiert nach Entwicklung, Herstellung und Export (die Anzahlen hergestellter oder in Entwicklung befindlicher Typen gibt Tabelle 1-7 an).

Land	Nutzung	Entwicklung	Herstellung	Export	MTCR-Mitglied
Argentinien	X	X	X	X	X
Australien	X	X	X	X	X
Bulgarien	X	X	X	X	X
China	X	X	X	X	
Deutschland	X	X	X	X	X
Frankreich	X	X	X	X	X
Großbritannien	X	X	X	X	X
Iran	X	X	X	X	
Israel	X	X	X	X	
Italien	X	X	X	X	X
Japan	X	X	X	X	X
Kanada	X	X	X	X	X
Österreich	X	X	X	X	X
Pakistan	X	X	X	X	
Polen	X	X	X	X	X
Russland	X	X	X	X	X
Schweiz	X	X	X	X	
Südafrika	X	X	X	X	
Ukraine	X	X	X	X	X
USA	X	X	X	X	X
Ägypten	X	X	X	-	
Indonesien	-	X	X	-	
Singapur	X	X	X	-	
Belgien	X	X	X	-	X
Brasilien	-	X	X	-	X
Chile	-	X	X	-	
Finnland	X	X	X	-	X
Griechenland	X	X	X	-	X
Indien	X	X	X	-	
Jordanien	X	X	X	-	
Korea, Süd	X	X	X	-	X
Kroatien	-	X	X	-	
Malaysia	X	X	X	-	
Mexiko	-	X	X	-	
Neuseeland	-	X	X	-	X
Niederlande	X	X	X	-	X
Rumänien	X	X	X	-	
Schweden	X	X	X	-	
Serbien	-	X	X	-	
Slowenien	X	X	X	-	
Spanien	X	X	X	-	
Taiwan	X	X	X	-	
Tschech. Rep.	X	X	X	-	X
Tunesien	-	X	X	-	
Türkei	X	X	X	-	X
Ver. Arab. Em.	X	X	X	-	
Ekuador	-	X	-	-	
Norwegen	-	X	-	-	X
Portugal	-	X	-	-	X
Thailand	X	X	-	-	
Ungarn	X	X	-	-	X
Venezuela	-	X	-	-	
Algerien	X	-	-	-	
Angola	-	-	-	-	
Bahrain	X	-	-	-	

Botswana	X	-	-	-	
Brunei	-	-	-	-	
Dänemark	-	-	-	-	X
Irak	-	-	-	-	
Irland	-	-	-	-	X
Island	-	-	-	-	X
Korea, Süd	X	-	-	-	
Kuwait	X	-	-	-	
Libyen	-	-	-	-	
Luxemburg	-	-	-	-	X
Marokko	-	-	-	-	
Oman	-	-	-	-	
Philippinen	X	-	-	-	
Qatar	X	-	-	-	
Saudi Arabien	X	-	-	-	

MTCR: Missile Technology Control Regime

Quelle: Jane's, 2007: S. 26 f. Dort wird nicht angegeben, warum Länder wie Brunei oder Dänemark ohne jeden UAV-Eintrag in die Liste aufgenommen wurden.

Für die beiden deutlich kleineren Märkte für USV/UUV und UGV lassen sich weit weniger belastbare Angaben finden. Es ist aber plausibel anzunehmen, dass auch in diesen Märkten US-amerikanische Firmen die größten Umsätze haben. Das gilt insbesondere für die militärischen Märkte, in denen die Umsätze weit überwiegend mit Forschung erzielt werden, finanziert durch das US-amerikanische Verteidigungsministerium (DOD).

3.1.3 Erwartete Zukunftsentwicklung

Schätzungen aus der einschlägigen Industrie sowie von Beratungsunternehmen, die deren Daten nutzen, lassen für die genannten Teilmärkte unterschiedliche Zuwächse erwarten.

Bei militärischen Satelliten wird nur mäßiges Wachstum der Umsätze erwartet. Im Wesentlichen wird davon ausgegangen, dass die großen Abnehmer in den USA (DOD, National Security Agency (NSA)) geringe Zuwächse im Vergleich mit den Marktvolumina Anfang der 2000er zu verzeichnen haben werden, während in einer Reihe anderer Staaten, darunter auch China und Indien, die Umsätze deutlich wachsen werden, allerdings weiterhin auf einem Niveau bleiben werden, das deutlich unter dem der USA liegt.

Für militärische UAVs werden in den nächsten 10 Jahren in verschiedenen Marktstudien deutliche Zuwächse der Nachfrage nach kompletten Systemen ebenso wie nach Forschung und Entwicklung erwartet. Die Größenordnungen ebenso wie die Zuwachsraten weichen jedoch deutlich voneinander ab. Im von der Teal Group herausgegebenen Bericht „World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast 2007“ wird geschätzt, dass der Markt für UAV-Technologie in der nächsten Dekade um durchschnittlich 12% pro Jahr

wachsen wird, von von ca. 2,7 Mrd US\$ (2007) auf 8,3 Mrd. US\$ (2017).¹⁸⁵ Die Firma Forecast International hingegen schätzt für die Zeit von 2006-2015 ein Marktvolumen für komplette militärische UAVs von 16 Mrd. US\$,¹⁸⁶ ausgehend von einem Volumen von über einer Milliarde US\$ in 2006. Das entspricht einer Zuwachsrate von ca. 7% pro Jahr. Für die Struktur des Marktes wird in beiden Studien zumindest in den nächsten 10 Jahren keine große Veränderung erwartet, d.h. US-amerikanische Firmen sollten auch dann noch einen Anteil von 80% am globalen Markt für militärische UAV haben.¹⁸⁷ Mit dieser Anbieterstruktur wird die Nachfrageseite abgebildet, für die weiter eine Dominanz des US-amerikanischen Verteidigungsministeriums in ähnlicher Größenordnung erwartet wird. Die Teal Group erwartet ein überdurchschnittliches Anwachsen des europäischen Marktes für militärische UAV, so dass nach ihrer Schätzung der Anteil europäischer Abnehmer Mitte des nächsten Jahrzehnts bei knapp 20% der globalen Nachfrage liegen könnte.¹⁸⁸ Auch die Daten in Anhang 3-1 zum weltweiten Handel mit militärischen UAV legen nahe, dass es zwar schon seit vielen Jahren einen Markt für große UAV¹⁸⁹ gibt, dass dieser aber im laufenden Jahrzehnt einen deutlichen Aufschwung genommen hat. Die Zahl der Neugeschäfte hat im Vergleich dieses zum vorhergehenden Jahrzehnt deutlich zugenommen (siehe Abbildung 3-1). Die Zahl der neu geordneten großen UAV ist nicht in ähnlichem Maß gewachsen. Der Hauptgrund dafür ist, dass in den 1990er Jahren deutlich mehr weniger komplexe (vor allem israelische) Systeme geordert wurden, im gegenwärtigen Jahrzehnt hingegen Bestellungen in der Regel nur kleine Stückzahlen komplexer Systeme umfassen.

VisionGain schätzt den Umfang des globalen Marktes für USV/UUV für 2020 auf 8,83 Mrd. US\$, wobei zivile Abnehmer deutlich dominieren sollen.¹⁹⁰ Dies wäre eine Steigerung auf mehr als das 10-fache des jetzigen Umsatzwertes (s. Tabelle 3-1).¹⁹¹ Dieser Schätzung liegt die – ungesicherte, siehe unten – Erwartung zu Grunde, dass nicht nur die Exploration von Bodenschätzen unter dem Meer sowie der Bau, die Wartung und Sicherung von Versorgungs- und Abflussleitungen (pipelines) deutlich zunehmen werden, sondern auch eine weitgehende Umstellung von ferngesteuerten auf deutlich teurere autonome Systeme erfolgen wird.

¹⁸⁵ Teal Group, 2007, nach <http://www.tealgroup.com/samples/toc-uavstudy.pdf> (23. 8. 2007).

¹⁸⁶ Forecast International, 2006: S. 2.

¹⁸⁷ Forecast International, 2006: S. 2-3.

¹⁸⁸ Teal Group, 2007, nach <http://www.tealgroup.com/samples/toc-uavstudy.pdf> (23. 8. 2007).

¹⁸⁹ SIPRI erfasst keine "microlight aircraft" und Zieldrohnen, <http://www.sipri.org/contents/armstrad/coverage.html> (9. 3. 2008).

¹⁹⁰ VisionGain, 2007, nach <http://www.the-infoshop.com/study/kt51796-uuv-ugv.html> (17. 8. 2007).

¹⁹¹ Wegen ihrer hohen Kosten konnte die VisionGain-Studie nicht beschafft werden, daher können deren Ausgangsjahr und -umsatz hier nicht angegeben werden.

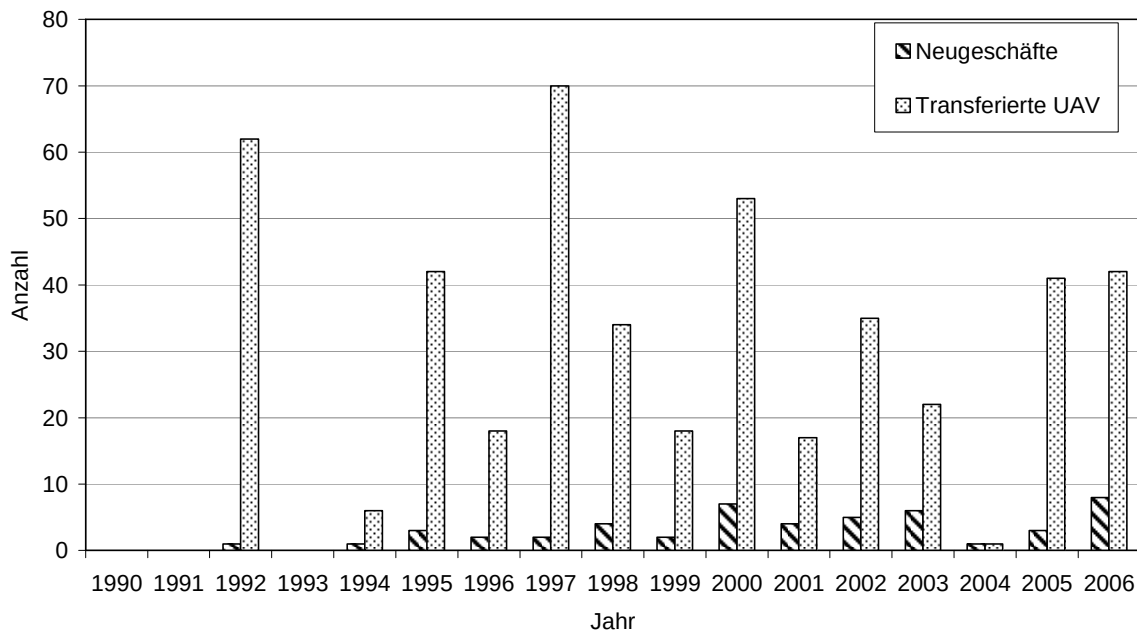


Abbildung 3-1 Internationaler Handel mit großen UAV. Quelle: s. Anhang 3-1.

Für UGV erwartet VisionGain einen Zuwachs des Umsatzes bis 2020 auf 1,35 Mrd. US\$, also auf etwa das Dreifache des oben geschätzten gegenwärtigen Umsatzes (Tabelle 3-1).¹⁹² Hier werden die Zuwächse sowohl im zivilen als auch im militärischen Bereich erwartet.¹⁹³

3.2 Ziviler Einsatz und zivile Anwendungen

3.2.1 Satelliten

Satelliten sind zu einem unverzichtbaren Element der modernen Industrie- und Kommunikationsgesellschaften geworden. Der Umsatz mit Satellitendiensten (Kommunikation, Information) übersteigt inzwischen deutlich den von Satelliten.¹⁹⁴ In einer Reihe von Fällen (GPS, Kommunikationssatelliten) werden Satelliten sowohl für zivile wie auch militärische Zwecke verwendet. Satelliten spielen auch eine wichtige Rolle für die Steuerung und Kommunikation von UMS im engeren Sinne.¹⁹⁵

¹⁹² S. Fußnote 191.

¹⁹³ S. <http://www.the-infoshop.com/study/kt51796-uuv-ugv.html> (17. 8. 2007).

¹⁹⁴ Die US-amerikanische Satellite Industry Association schätzt den Anteil der Satellitendienste am Umsatz der Satellitenindustrie auf 59%, gegenüber 11% für Satelliten, 27% für Bodenstationen und 3% für die Satellitenbeförderung.

¹⁹⁵ Die Kommunikation mit UAV über lange Entfernungen geschieht weitgehend über kommerziell angemietete Satellitenverbindungen, s. Abschnitt 2.2.2.5.

3.2.2 UAV

Die zivile Nutzung von UAV ist insbesondere durch luftfahrtrechtliche Einschränkungen (siehe Kapitel 2 und 5) bisher auf Nischenmärkte begrenzt. Hierzu zählen etwa der Einsatz von UAVs mit Kameras und Sensoren bei der Grenzüberwachung sowie bei Sportveranstaltungen in eingeschränkten Lufträumen.¹⁹⁶ In Japan konnte Yamaha bisher über 2000 ferngesteuerte RMAX-Helikopter für den zivilen Gebrauch insbesondere in der Landwirtschaft verkaufen.¹⁹⁷ Die Firma Microdrones aus Kreuztal, zum Beispiel, hat weltweit bisher rund 300 mit Überwachungskameras ausgestattete Hightech-Minihubschrauber verkaufen können. Angefragt haben unter anderem die Sicherheitsbehörden in China. Um auf etwaige Vorkommnisse bei den im August beginnenden Olympischen Spielen schneller reagieren zu können, plant die chinesische Regierung eine verstärkte Überwachung aus der Luft.¹⁹⁸

Die potenzielle Nachfrage nach UAV für zivile Verwendungen ist groß, sollten denn die rechtlichen und Sicherheitsprobleme befriedigend gelöst werden können. Im hoheitlichen Bereich ist vor allem die Grenzüberwachung über Land und See ein potenziell großer Markt. Einige Polizeikräfte setzen bereits UAV ein.¹⁹⁹ In der Überwachung der Südgrenze der USA werden UAV seit vielen Jahren eingesetzt.²⁰⁰ Die EU-Kommission empfiehlt, den Schwerpunkt in der Forschung und technologischen Entwicklung der Grenzüberwachung auf UAV und Satelliten zu legen.²⁰¹ Im kommerziellen Luftverkehr haben die Frachtgesellschaften Interesse daran, ihre Flugzeuge pilotenlos fliegen zu lassen, um dadurch Kosten zu sparen (siehe unten). Aber auch viele weitere zivile Verwendungen sind angedacht (siehe Kasten 3-1). Allerdings ist bei vielen Vorschlägen unklar, ob tatsächlich Kosteneinsparungen gegeben sind, wenn die notwendigen technischen Voraussetzungen für Aufgabenerfüllung und Sicher-

¹⁹⁶ Jane's, 2007.

¹⁹⁷ Jane's, 2007.

¹⁹⁸ Geschäft mit Überwachungs-Flugdrohnen boomt, heise online news, 11. 1. 2008, <http://www.heise.de/newsticker/meldung/101829> (29. 7. 2008). Eines dieser Systeme kostet 13.000-14.000 €.

¹⁹⁹ UAV werden in kleinen Stückzahlen von Strafverfolgungsbehörden mehrerer europäischer Länder, z.B. Frankreich, Großbritannien, Italien, Niederlande, Schweiz und USA eingesetzt, um etwa Grenzen, Fußballspiele, Objekte oder Demonstrationen zu überwachen, siehe <http://euro-police.noblogs.org/category/drohnen> (29. 7. 2008); zur Überwachung von Grenzen und Fußballstadien in der Schweiz s. Zemp, 2008. Die Polizei in Nordrhein-Westfalen hat schon 2003 einen AirRobot beschafft, der bei Geiselnahmen u.a. Spezialeinsätzen verwendet werden soll; Einsatz über Menschenmengen wird als zu gefährlich angesehen, Interview J. Altmann mit F. Kubicki, Landesamt für Zentrale Polizeiliche Dienste (Duisburg), Oktober 2007. Anfang 2008 beschaffte die sächsische Polizei zwei AirRobot-Quadcopter für 65.000 € zur Überwachung von Fußballspielen, <http://www.heise.de/newsticker/meldung/101829> (29. 7. 2008). Auch andere Polizeibehörden haben die Möglichkeit des Einsatzes von Drohnen geprüft, siehe Fliegende Augen über Deutschland, Der Stern, 25. Januar 2008, <http://www.stern.de/computer-technik/technik/%DCberwachungsdrohnen-Fliegende-Augen-%FCber-Deutschland/608933.html> (29. 7. 2008). 2008 hat neben diesen beiden Ländern noch die Bundespolizei UAS (Fancopter und ALADIN), Friedl, 2008.

²⁰⁰ Jane's, 2007.

²⁰¹ Kommission, 2007: S. 9.

heit von Personen und Sachen geschaffen sind. Vermutlich werden sich nur einige Verwendungen als realistisch erweisen.

Kasten 3-1

Auswahl potenzieller ziviler Anwendungsmöglichkeiten von Unmanned Aerial Vehicles (UAV)²⁰²

Hoheitliche Aufgaben

- Grenz-, Küsten-, Seeüberwachung
- Ökologische Überwachung (Wald, Gewässerverschmutzung etc.)
- Katastrophenfrühwarnung und –schutz (neben Beobachtung und Überwachung z.B, Rettung von Menschen, Funkrelaisstationen in Katastrophensituationen)
- Verkehrsüberwachung

Privatwirtschaftliche Verwendungen

- Bilderfassung (Fotografen, Fernsehen)
- Überwachung von Großanlagen
- Agrarwirtschaft (Pestizideinsatz)
- Lastentransport
- Personentransport

3.2.3 USV/UUV

Wie bereits erwähnt (Abschnitt 3.1.1) dominiert im Bereich der USV/UUV gegenwärtig der zivile Sektor. Entwickelt und produziert werden vor allem (per Kabel) ferngesteuerte Unterwassersysteme, so genannte ROVs, für die Rohstoffindustrie, insbesondere die Öl- und Gasindustrie, sowie für die Verlegung von Unterseekabeln, aber auch für Firmen, die mineralische Rohstoffe auf dem Meeresgrund suchen, sowie die wissenschaftliche Forschung. Zahlreiche weitere mögliche Verwendungen sind in der Literatur schon beschrieben worden (siehe Kasten 3-2).

Diese Abnehmer sind an der Entwicklung von autonomen Systemen interessiert, wodurch ein neuer Markt mit deutlich größerem Volumen entstehen könnte. Von autonomen Systemen werden zumindest von einigen Firmen mittelfristig erhebliche Kosteneinsparungen erwartet. Die Industrie hat allerdings größere Zuverlässigkeit und Marktreife der Systeme zur Voraus-

²⁰² Die Liste stammt von der Arbeitsgruppe UAV DACH: http://www.uavdach.org/Home/uav_dach.htm (23. 8. 2007). Eine verlässliche Bewertung der Marktpotenziale, technischen und rechtlichen Hemmnisse erfor-

setzung für größere Investitionen gemacht hat. In der ozeanographischen Forschung (wie im begrenzten Umfang bei Marinen) sind aber bereits autonome UUV im Einsatz. Die Suche nach ausreichender Finanzierung bzw. entsprechenden Auftraggebern stellt daher nach eigener Auskunft zurzeit eines der größten Probleme für die Hersteller dar, die autonome Systeme weiter entwickeln wollen.²⁰³

Kasten 3-2

Auswahl potenzieller ziviler Anwendungsmöglichkeiten von Unmanned Surface/Underwater Vehicles (USV/UUV)²⁰⁴

Hoheitliche Aufgaben

- Grenzschutz, Küstenschutz, Wasserschutzpolizei (Überwachung, Detektion, Bergung etc.) (UUV und USV)

Privatwirtschaftliche Verwendungen (UUV sowie USV in Verbindung mit UUV)

- Offshore-Industrie (Öl, Gas, Unterseekabel) → hydrographische Untersuchungen, Unterwasserpipelines legen und überprüfen; wichtigstes Einsatzgebiet
- Rohstoffindustrie (Diamanten, Nickel u.a.) → Unterwasserprospektion, -abbau
- Suchoperationen (z.B. bei Schiffsunfällen)
- Überprüfen/Verlegen von Unterwasserkabeln (u.a. auch automatisierte Verfolgung von Kabeln)

Wissenschaft und Forschung (UUV sowie USV in Verbindung mit UUV))

- Geophysikalische Wissenschaft und Forschung → Strömungsmessungen, Unterwasservulkanbeobachtungen etc.

3.2.4 UGV

Während im militärischen Bereich durchaus Planungen für großflächigen Einsatz von UGV bestehen (siehe Modul 2), wird im zivilen Bereich zumindest in den nächsten zehn Jahren eher mit einem begrenzten Zuwachs gerechnet.

Die Nutzung autonomer unbemannter Landfahrzeuge in beliebiger Umgebung ist für viele Zwecke vorgeschlagen worden, z.B. für die Erkundung von Gelände, Straßen und Gebäuden, evtl. auch zur Rettung, z.B. nach Katastrophen. Auch die Überwachung von Anlagen auf

dert Detailanalysen mit erheblichem Rechercheaufwand, die im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden konnten.

²⁰³ S. Lake, 2007, S. 30.

²⁰⁴ Eigene Zusammenstellung. Auch hier wäre eine Abschätzung der Marktpotenziale nur mit erheblichem Rechercheaufwand möglich.

durch Detektoren wahrnehmbare Defekte oder Beschädigungen könnte von UGV übernommen werden. Langfristig könnte auch der Transport von Gütern und Personen durch unbemannte Fahrzeuge erfolgen (siehe Kasten 3-3). Im hoheitlichen Bereich könnten Aufgaben der Überwachung von Transportwegen, von Grenzen, aber auch bei Geiselnahmen mit UGV erledigt werden.

Kasten 3-3

Auswahl potenzieller ziviler Anwendungsmöglichkeiten von Unmanned Ground Vehicles (UGV)²⁰⁵

Hoheitliche Aufgaben

- Katastrophenschutz (Feuerwehr, Kampfmittelräumung)
- Polizei (Untersuchung potenziell gefährlicher Objekte, Unterstützung beim Zugriff, Überwachung)

Privatwirtschaftliche Verwendungen

- Baugewerbe
- Bergbau
- Landwirtschaft

Diese Zukunftsvisionen scheitern allerdings bisher am nicht sehr befriedigenden Stand der Orientierung von autonomen UGV und den damit verbundenen Gefahren durch Unfälle. Zivile autonome UGVs in Sinne der in dieser Studie benutzten Definition dürften deshalb auf absehbare Zeit vor allem Gegenstand der Grundlagenforschung und Entwicklung von Prototypen bleiben. Seit vielen Jahrzehnten wird an autonomen Roboterfahrzeugen gearbeitet, die aber bisher in nicht bekannter Umgebung nur unter kontrollierten Bedingungen einsetzbar waren (anders ist dies in bekannter Umgebung bzw. Räumen, siehe unten). Die inzwischen zahlreichen Wettbewerbe für UGVs belegen dies eindrucksvoll. Erst jetzt zeichnen sich Fähigkeiten ab, einem Straßenverlauf zu folgen oder im Gelände Hindernisse zu erkennen und ihnen auszuweichen. Wo UGV, insbesondere für lebensgefährliche Spezialaufgaben, bereits heute verwendet werden, werden sie unmittelbar von Menschen kontrolliert.²⁰⁶ Ähnlich wie im Bereich der UAVs (siehe Modul 5) werden erhebliche rechtliche und psycho-

²⁰⁵ Vgl. Butcher, 2006. Die Marktpotenziale sind ohne erheblichen Rechercheaufwand nicht verlässlich bestimmbar.

²⁰⁶ Siehe z. B die ferngesteuerte Planierdraupe, <http://www.ara.com/products/Robotics/MRCS.pdf> (1. 4. 2008), oder ferngesteuerte Geräte für die Arbeit an Hochspannungsleitungen, http://www.foster-miller.com/projectexamples/t_robotics/tomcat.htm (1. 4. 2008).

logische Schranken zu überwinden sein, bevor autonome UGVs auf freiem Gelände zugelassen werden können. Realistisch ist deshalb, bevor sich autonome UGV in unbekannten Gebiet verlässlich orientieren und Gefahren vorbeugen können, vor allem der Einsatz von ferngesteuerten Fahrzeugen für Einsätze in besonders gefährlichen Situationen, also z.B. in Bereichen der Kampfmittelräumung, der Feuerbekämpfung, der Menschenrettung, des Katastrophenschutzes und der polizeilichen Gefahrenabwehr, in denen auch heute schon UGVs eingeführt sind.

Deutlich anders als für UAVs in Sinne der hier benutzten Definition sind die Zukunftsprognosen für kurzzeitig autonome Fahrzeuge und Fahrzeuge, die in kontrollierten vordefinierten Räumen fahren (siehe Abschnitt 3.4.4). Noch unklar sind die Zukunftsaussichten für Fahrzeuge in kontrollierten, aber nicht vollständig erfassbaren Räumen, insbesondere in der Logistik (Transport), Bauwirtschaft (Transport) und Landwirtschaft (Pflügen, Düngen, Säen etc.).

3.2.5 Zusammenfassung

Die zivile Nutzbarkeit von Technologien, die bisher und in der absehbaren Zukunft für UMS in engerem Sinne entwickelt werden, ist unter den gegenwärtigen gesellschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen beschränkt. Das ist deutlich anders im Bereich der Satelliten, bei denen der Grad ziviler Nutzbarkeit ausgesprochen hoch ist. Die Gründe für die eher geringe Nutzbarkeit sind sehr unterschiedlich für die verschiedenen Typen von UMS. Bei UAV sind vorrangig Sicherheitsprobleme zu nennen. Solange diese nicht befriedigend gelöst sind und die Auffassung, dass sie gelöst sind, sich nicht in der Bevölkerung weit verbreitet hat, wird die zivile Nutzung auf Nischenmärkte beschränkt bleiben. Das Sicherheitsproblem hat auch für UGV große Bedeutung. Darüber hinaus ist stärker noch als im Bereich der UAV zu erwarten, dass zivile Technologie (z.B. Roboter und Fahrzeugkontrollsysteme, siehe Abschnitt 3.4.4) rascher voranschreitet als militärische und sich insofern eher ein Technologiestrom von zivilen zu militärischen Systemen ergeben wird. Letzteres gilt vermutlich auch für UUV, zumindest solange sie kleiner sind als gegenwärtige bemannte U-Boote.

3.3 Erwartbare Einsparpotenziale, mögliche zusätzliche Kosten

Im Folgenden werden zunächst einige grundlegenden Ausführungen zu Kostenaspekten von UMS gemacht. Dafür werden Kostenvergleiche für Aufgabenerfüllung durch ähnliche Einsatzformen und solche für UMS bzw. Menschen-typische Einsatzformen unterschieden. Die grundlegenden Überlegungen werden dann an Hand von Beispielen vertieft.

3.3.1 Kostenelemente im Vergleich für ähnliche Einsatzformen

UMS sollen ein weites Spektrum von Aufgaben erfüllen, von denen die meisten auch von bemannten Systemen erfüllt werden können (siehe Modul 2).

Das größte Einsparpotenzial für militärische und zivile UMS ergibt sich hier unmittelbar durch die Abwesenheit eines Menschen im Fahrzeug. Dadurch können erstens die Kosten für den Überlebensschutz von Menschen im fahrenden Teils des Systems gesenkt werden. Diese Einsparungen sind besonders hoch bei Einsätzen an gefährlichen Orten – etwa im Weltall oder in der Tiefsee – und in feindlichem Gebiet im militärischen Einsatz. Zweitens können dadurch in der Tendenz auch die Personalkosten für den Einsatz der Systeme gesenkt werden. Der Personaleinsatz kann auf kritische Situationen eingeschränkt werden, Altersbeschränkungen und Gesundheitseinschränkungen, die besonders für Piloten relevant sind, können aufgeweicht werden. In der Praxis scheinen diese Einsparungen allerdings deutlich geringer ausgefallen zu sein als erwartet oder sogar nicht realisiert worden zu sein. Etwaige Zuschläge für das Führen der Fahrzeuge, z.B. auf Grund des Einsatzes im Ausland, können entfallen. Weiterhin können Einsätze über längere Zeiten erfolgen, als sie mit menschlicher Besatzung möglich wären. Dieser Kostenvorteil ist besonders drastisch bei Weltraumsystemen. Der Verzicht auf Überlebenssysteme führt zu Gewichtseinsparungen, die sich wiederum in niedrigeren Betriebskosten niederschlagen. Schließlich ergeben sich Kosteneinsparungen durch die andere Art der Ausbildung und des Trainings der Fahrzeugführer. Ausbildung und Training für das Führen von Fahrzeugen finden bisher weit überwiegend in den Fahrzeugen selber statt, was insbesondere bei Fahrzeugen mit hohen Abschreibungen pro Nutzungsstunde und/oder hohen Betriebskosten pro Stunde zu hohen Kosten führen kann. Die Ausbildung und das Training für das Führen von UMS hingegen können in deutlich höherem Maße in Simulatoren erfolgen, was in der Regel zu erheblichen Kosteneinsparungen führt.²⁰⁷

Andererseits entstehen zusätzliche Kosten durch die ohne Menschen notwendig komplexere Steuerung der Fahrzeuge. Die Fahrzeuge brauchen zusätzlich Sensoren, die Steuerungssoftware ist in der Regel aufwändiger. Auch die Kontrollsysteme, wie sie denn wie bei ferngelenkten Systemen gebraucht werden (in der Regel bodengestützt, über größere Entfernungen mit Satellitenübertragung), sind in der Regel komplexer. Dadurch steigen die Kosten für Forschung und Entwicklung für UMS verglichen mit bemannten Systemen mit weniger komplexer Steuerungstechnologie. Zusätzliche Sensoren bei UMS können deren Beschaffungs- und Erhaltungskosten erhöhen.

²⁰⁷ Zum Beispiel des Vergleichs unbemannter Kampf-UAV (UCAV) mit bemannten Kampfflugzeugen siehe Geer, 2005.

Insoweit UMS aus Kostengründen weniger zuverlässig sind als Systeme mit Menschen in den Fahrzeugen, werden auch höhere Verlustraten einzukalkulieren sein.²⁰⁸ Allerdings könnte dies durch die geringeren Kosten des einzelnen Fahrzeugs aufgewogen werden.

3.3.2 Kostenvergleiche für spezifische Einsatzformen

Für bestimmte Einsatzformen ergeben sich erhebliche Kosteneinsparungen entweder für UMS oder bemannte Systeme, die über die oben genannten Aspekte hinausgehen. Hier sind insbesondere vier Aspekte zu nennen: Miniaturisierung, Einsatzdauer, Verlustwahrscheinlichkeit und Sinn-Komplexität.

UMS können deutlich stärker als bemannte Systeme miniaturisiert werden. Wo Miniaturisierung einen deutlichen Vorteil für die Aufgabenerfüllung spielt, sind UMS konkurrenzlos. Das gilt z.B. für Aufklärung in eng begrenzten Räumen wie engen Tunneln oder Röhren.

Mit der Miniaturisierung hängt potenziell auch die Frage der Einsatzdauer zusammen. UMS können, bei ähnlichem Einsatzspektrum, deutlich geringer motorisiert werden. Die Menge an Treibstoff, die in den Fahrzeugen mitgenommen werden kann, kann dann höher sein. UMS können deshalb bei längeren Einsätzen deutliche Kostenvorteile haben. Allerdings muss dieser Kostenvorteil nicht ausgenutzt werden bzw. nicht für den gewünschten Einsatz relevant sein. Viele der kleinen UAV, die gegenwärtig angeboten werden, haben geringe Einsatzdauern.

Auch bei besonders gefährlichen Einsätzen haben UMS Kostenvorteile. Sie können eingesetzt werden, wo alternativ nicht einfach bemannte Systeme zum Einsatz gebracht werden können, sondern nur umfangreiche und kostenträchtige Alternativen in Frage kommen. Beispiele hierfür sind etwa das Räumen von schweren Fahrzeugminen, das Entschärfen von Bomben oder das Überfliegen von Stellungen, die gut durch Luftverteidigung geschützt sind.

Andererseits können die Kosten von UMS für Einsätze vergleichsweise hoch sein, in denen die Erfassung, Verarbeitung (und Übermittlung) von komplexen Informationen gefordert ist, für deren Auffassung der Mensch besonders gut ausgestattet ist. Das gilt zumindest bis auf weiteres für visuelle Erfassung von komplexen, dynamischen Szenen und die Verbindung von Informationen durch unterschiedliche Sinne (Sehen, Riechen, Hören). So ist bis auf weiteres nicht damit zu rechnen, dass UAV als Jagdflugzeuge – also für den direkten Kampf gegen andere Kampfflugzeuge – eingesetzt werden können (siehe Modul 2).

²⁰⁸ Zu den Verlustraten von UAV siehe z.B. OSD 2005: S. 75.

3.3.3 Kostenvergleiche

Kampfflugzeuge versus Unmanned Combat Aerial Vehicle (UCAV)

In verschiedenen Studien sind die Kosten des Einsatzes von bemannten Kampfflugzeugen und UCAV für den Bodenkampf oder den Einsatz als Bomber untersucht wurden. Die meisten dieser Studien sind öffentlich nicht zugänglich.

Eine interessante Aufarbeitung der öffentlich zugänglichen Literatur findet sich in einer Abschlussarbeit der School of Advanced Airpower Studies der Air University, Maxwell Air Force Base, Alabama.²⁰⁹

Öffentlich verfügbare Daten für US-amerikanische Forschungs- und Entwicklungskosten für bemannte und unbemannte Systeme zeigen, dass bei vergleichbarer Komplexität und für vergleichbare Aufgaben die Unterschiede gering sind. „There is little potential for UCAV R&D savings in the future“.²¹⁰ Ähnliches gilt für Beschaffungskosten. Die Einsparungen durch Verzicht auf Piloten belaufen sich zwar auf ca. 5% der Gesamtkosten,²¹¹ diese werden aber durch die höheren Kosten für das Bodenelement für die Kontrolle des UCAV kompensiert. „Das Endergebnis ist, dass, zumindest anfänglich, die Beschaffungskosten für bemannte und unbemannte Systeme im Wesentlichen gleich sind“.²¹² Große Einsparungen ergeben sich hingegen bei den Betriebskosten. Ausbildung und Training können weitgehend auf Simulatoren erfolgen. In der Studie wird angenommen, dass im Durchschnitt ca. 95% der Flugstunden eines Kampfflugzeuges für Trainingsflüge benötigt werden.²¹³ Training ist mit hohen Verlustraten verbunden, in 70% der Fälle durch Flugfehler. Durch den stärkeren Einsatz von Simulatoren kann das Training mit deutlich weniger fliegenden Systemen durchgeführt werden. Diesen Einsparungen müssen allerdings höhere Kosten für die höheren Verlustraten bei UCAV gegenüber gestellt werden. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie waren diese so hoch, dass ein Einsatz von UCAV als nicht effizient eingeschätzt wurde (siehe Modul 2). Allerdings wurde erwartet: „Mit wachsender Zuverlässigkeit und verbesserter Einsetzbarkeit können UCAVs wahrscheinlich bezüglich beider Kategorien, Kosten und Einsatz, effektiv sein.“²¹⁴

Die zitierten Schlussfolgerungen werden in einer von der niederländischen Consulting-Firma ADSE für die Europäische Verteidigungsagentur erstellten Studie tendenziell bestätigt. Einige

²⁰⁹ Lewis, 2002.

²¹⁰ Lewis, 2002: S. 76.

²¹¹ Berechnet auf der Grundlage einer Gewichtseinsparung von ca. 2.000 Pfund (970

Ergebnisse dieser Studie sind öffentlich zugänglich.²¹⁵ Untersucht wurden die Kosten für Luft-Boden-Missionen für bemannte Kampfflugzeuge sowie UCAV auf ähnlichem technischen Niveau und einer größeren Zahl („Schwarm“) kleinerer, technisch weniger aufwendiger UCAV. Weder bei den Entwicklungs- noch den Beschaffungskosten wurden große Unterschiede zwischen den bemannten und dem technischen aufwendigen UCAV ermittelt. Den Einsparungen für die Überlebenssysteme und durch eine geringe Zahl notwendiger Systeme (weil weniger für Ausbildung und Training benötigt werden) stehen bei den UCAV höhere Kosten für die Steuerungssysteme im Fahrzeug und am Boden gegenüber. Erhebliche Einsparungen ergeben sich beim Betrieb der UCAV insbesondere auf Grund der Möglichkeit, Ausbildung und Training in weit größerem Umfang mit Simulatoren durchzuführen. Für Schwärme kleinerer UCAV hingegen werden keine Einsparungen errechnet. Den niedrigeren Betriebskosten stehen höhere Beschaffungskosten gegenüber, die vor allem dadurch entstehen, dass für diese Systeme mit einer höheren Ausfallrate gerechnet werden muss.

UAVs zur Grenzüberwachung

Die Überwachung von See- und Landgrenzen wird häufig als einer der größten zivilen Wachstumsmärkte für UAV genannt.

Als Einsparpotenzial wird vor allem auf die längere Verweildauer von UAV über zu kontrollierendem Gelände sowie die geringen Betriebskosten durch Gewichtseinsparung und Miniarisierung hingewiesen. Die oben beschriebenen allgemeinen Überlegungen zu Einsparungsmöglichkeiten bei Personalkosten werden häufig auf den Fall der Grenzüberwachung übertragen.

Konkrete vergleichende Kostenschätzungen konnten für diese Studie nicht verwertet werden. Hier soll deshalb nur auf relevante Information über die Erfahrungen an der Südgrenze der USA, wo UAV seit den 1990er Jahren eingesetzt werden, verwiesen werden. Diese Informationen verweisen darauf, dass UAVs für bestimmte Einsatzformen, insbesondere die Langzeitüberwachung, Kostenvorteile gegenüber bemannten Systemen haben. Sie zeigen jedoch gleichzeitig deutlich, dass UAVs nur ein Element eines umfassenden Systems der Grenzüberwachung sein können. UAVs können nur zur Überwachung der Grenzen dienen, liefern jedoch keinen Beitrag zu ihrem physischen Schutz. Bestimmte Fähigkeiten, wie z.B. zum Zugriff auf Personen, haben sie nicht. Diese müssen daher in jedem Fall relativ ortsnah

²¹⁵ ADSE, 2008.

zur Verfügung gehalten werden. Außerdem stürzen UAVs deutlich häufiger ab als bemannte Systeme und können bei schlechtem Wetter nur sehr beschränkt eingesetzt werden.²¹⁶

Die Bedeutung von UAVs für die Überwachung der Südgrenze der USA hat in den letzten Jahren eher ab- als zugenommen. In seiner letzten großen Ausschreibung im Rahmen der „Border Patrol Initiative“ wählte das *Department of Homeland Security* (DHS) Boeing als Hauptauftragnehmer aus. Im Gegensatz zu Wettbewerbern räumte Boeing bei seinem Konzept dem Einsatz von UAVs nur eine Nebenrolle ein, weil diese zu viele Unsicherheitsfaktoren bergen würden und zudem gegenüber konventionellen Systemen (Zäune und Türme) erheblich teurer seien.²¹⁷ Die erhöhten Kosten entstehen nach Aussage von Boeing vor allem auf Grund der Anzahl von Bodenpersonal, das zum Betrieb von UAV nötig ist.²¹⁸ In seiner Ausgabenplanung für das Finanzjahr 2008 mit einem Volumen für die „Border Patrol Initiative“ von 2 Mrd. US\$ sieht das DHS lediglich die Anschaffung von 3 neuen UAV vor.²¹⁹

Taucher, bemannte Tauchboote, ROVs und autonome UUV

Professionelle Taucher, bemannte Tauchboote und ROVs werden gegenwärtig nebeneinander für unterschiedliche Aufgaben eingesetzt, da die Kostenkalkulationen für Einsatzformen und Einsatzziele sehr unterschiedlich ausfallen.

Professionelle Taucher können nur bis zu vergleichsweise geringen Tiefen eingesetzt werden, wobei die Kosten pro Einsatzzeit mit der Einsattiefe überproportional ansteigen. Dafür haben Taucher erhebliche Vorteile bei Aufgaben, die komplexe Wahrnehmungen und das Verrichten nicht-standardisierter Handlungen erfordern.

Bemannte Tauchboote unterliegen nicht den physischen Einschränkungen von Tauchern, erfordern aber, mit der Tiefe, in die sie tauchen sollen, ansteigend, Kosten für Überlebenssysteme. Für Beobachtungsaufgaben, insbesondere wo komplexe Sinn-Wahrnehmungen gefordert sind, sind sie gut geeignet, für die Ausführung mechanischer Tätigkeiten hingegen, nicht zuletzt auf Grund der Eigengefährdung, in geringerem Maße.

ROVs sind insbesondere für die Ausführung von Routinearbeiten (Kontrolle wie Ausführung von einfachen mechanischen Aufgaben bis hin zu Schweißen) geeignet. Ab Tiefen von ca. 50 Meter (darüber können Taucher in der Regel kostengünstiger eingesetzt werden) ist ihr Einsatz kostengünstiger als der von Taucher und Tauchbooten.

²¹⁶ Larson, 2008.

²¹⁷

Insbesondere dort, wo auf Grund von schwierigen See-Verhältnissen der Betrieb von ROVs (die über Kabel mit Überwasserschiffen verbunden sind) problematisch ist, könnten sich autonome Systeme rechnen. Potenziell könnten sich auch Kosteneinsparungen dadurch ergeben, dass weniger Personal zur Steuerung und Überwachung der Systeme im Einsatz erforderlich sein könnte. Wegen der Schwierigkeiten der Unterwasserkommunikation können autonome UUVs allerdings keine Echtzeitdaten liefern, die von ihnen gespeicherten Daten müssen nach ihrem Auftauchen ausgewertet werden. In einer Studie der Shell International wurden die möglichen Einsparungen durch den Einsatz von autonomen UUVs gegenüber ferngesteuerten UUVs auf 30 Mio. US\$ innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren geschätzt.²²⁰ Allerdings gibt es auch zahlreiche Skeptiker, die sowohl Sicherheits- als auch Kostenfragen anders einschätzen. Auf autonome UUVs kann aus physikalischen Gründen nur schlecht zugegriffen werden, da nur geringe Datenmengen zu ihnen übertragen werden können. Daraus wird häufig gefolgert, dass die Verlustraten von autonomen UUVs möglicherweise höher liegen könnten als die von ROVs. Noch haben autonome UUVs ihre Einsatzfähigkeit aus Sicht der meisten potenziellen Käufer nicht ausreichend bewiesen. Deshalb zögert zum Beispiel die Offshore-Industrie noch, autonome Unterwassersysteme in größerem Maßstab einzusetzen.

3.3.4 Zusammenfassung

Kostenvergleiche zwischen bemannten und unbemannten Systemen werden stark von den Faktoren Einsätze, Einsatzbedingungen und Einsatzziele beeinflusst. Unter vielen Einsatzbedingungen bieten UMS erhebliche Kostenvorteile, insbesondere in lebensfeindlichen und gefährlichen Situationen oder dort, wo Miniaturisierung für die Erreichung des Einsatzzieles wichtig ist. Andererseits gibt es Einsatzziele und Einsatzbedingungen, in denen komplexe Erfassung und Verarbeitung von Daten notwendig ist, deren technische Bewältigung in UMS teuer ist, die Menschen aber erfolgreich bewältigen können. Bei Einsätzen, in denen weder Überlebensschutz noch Sinn-Komplexität entscheidende Kostenfaktoren sind, haben UMS tendenziell Kostenvorteile. Dies zeigt sich z.B. bei ROVs, mit Abstrichen auch bei UAVs. In komplexeren Aufgabenfeldern, etwa der Grenzüberwachung, zeigt sich, dass die kostengünstigste Variante in der Kombination bemannter und unbemannter Systeme besteht. Pauschale Kostenvergleiche zwischen bemannten und unbemannten Systemen sind nicht aussagekräftig.

²²⁰ Zitiert nach NDIA, 2004: S. 12.

3.4 Volkswirtschaftliche und innovationspolitische Bedeutung von UMS

3.4.1 Globale wirtschaftliche Bedeutung

Bisher haben nur die Satelliten eine größere wirtschaftliche Bedeutung. Satelliten sind ein unverzichtbares Instrument der modernen Industrie- und Kommunikationsgesellschaften. Einschließlich aller induzierten Umsätze, etwa im Bereich der Telekommunikation, der Orientierung und der Unterhaltung, kann Mitte des laufenden Jahrzehnts von Volumina von mehr als 200 Milliarden € pro Jahr ausgegangen werden.²²¹ Auch die Bedeutung der Satellitenindustrie selbst ist relativ groß. Demgegenüber sind die anderen Industrien, die mit der Entwicklung und Fertigung von UMS und zivilen verwandten Systemen beschäftigt sind, von eher marginaler Bedeutung. Dadurch ist die volkswirtschaftliche und innovationspolitische Bedeutung zunächst durch die Größe der relevanten Industriesektoren begrenzt. Zwar ist, wie oben belegt, der Aufwand an Forschung und Entwicklung gemessen am Umsatz sehr hoch, allerdings bleiben die Summen im Vergleich zu anderen Industriezweigen gering. Etwas anders fällt die Einschätzung allerdings aus, wenn auch relevante Komponenten Berücksichtigung finden, etwa im Bereich der Robotik, der Sensoren und der Steuerungssoftware (siehe oben). In diesen, weitgehend durch ortsfeste Maschinen geprägten, Sektoren werden zum Teil erhebliche Umsätze erzielt und über Kostenersparnisse und Effektivitätssteigerungen erhebliche weitere Umsätze induziert.

3.4.2 Deutschland

Deutschland verfügt über eine leistungsfähige, wenn auch relativ kleine, Satellitenindustrie. In den anderen Bereichen sind deutsche Firmen bisher eher Nischen- oder Subsystemproduzenten. Dies spiegelt die US-amerikanische Überlegenheit in diesen Bereich wider (siehe Abschnitt 3.1.1). Dadurch ist insgesamt die volkswirtschaftliche Bedeutung der UMS-relevanten Industrie eher gering. Wiederum fällt das Urteil etwas anders aus, wenn auch relevante Komponenten, insbesondere Steuerungssoftware, aber auch Robotik, mit in die Betrachtung einbezogen werden. Hier sind deutsche Firmen auf dem Weltmarkt besser etabliert als im Bereich militärischer UMS.

3.4.3 Innovationspolitische Bedeutung

Die innovationspolitische Bedeutung von UMS ist sehr unterschiedlich.

²²¹ Eigene Schätzung auf der Grundlage von Space Foundation, 2007.

Im Bereich der Satelliten ist die Bedeutung sehr hoch. Satelliten selbst sind weiterhin Hochtechnologieprodukte, bei deren Herstellung technologisches Grenzwissen benötigt und erzeugt wird. Satelliten selbst, bzw. die mit ihnen möglichen Dienste, sind darüber hinaus ein Innovationsmotor der Kommunikations-, Orientierungs- und Unterhaltungsindustrie. Darüber hinaus sind Satelliten in erheblichem Maße dual-use-Produkte, das heißt, auch im militärischen Bereich finanzierte neue Technologie diffundiert in der Regel relativ rasch in zivile Verwendungen.

Für den Bereich der UAV lassen sich bisher kaum Aussagen über deren innovationspolitische Bedeutung machen, da die zivilen Anwendungen bisher gering geblieben sind. Interessant ist in diesem Zusammenhang der hohe Anteil von ursprünglich für zivile Zwecke entwickelten Komponenten in militärischen UAV, z.B. im Bereich der Energiespeicher und Antriebe,²²² soweit sich Systemkomponenten hinsichtlich ihres Ursprungs zurückverfolgen lassen. Durch diese militärische Nachfrage gehen Impulse auf die Forschung für diese Komponenten aus, die allerdings auf Grund der im Vergleich geringen Größe des militärischen UAV-Marktes beschränkt sind.

Im Bereich der UUV sind zivile Entwicklungen dominierend. Der Technologiestrom zwischen zivilen und militärischen Sektor war bisher stark von den Größenordnungen der Aufwendungen bestimmt. Einzelne Marinen haben für Spezialaufgaben, wie z.B. Minenräumung, zivile UUV (auch technisch einfachere Überwassersysteme) oder mit in der zivilen Industrie entwickelten Komponenten bestückte neu entwickelte Systeme beschafft. Größeres Potenzial für den umgekehrten Technologiestrom, das heißt vom militärischen in den zivilen Sektor, ist kaum zu erwarten, am ehesten im Bereich großer UUV, für die, etwa für den Abbau von mineralischen Rohstoffen in Tiefseegebieten, ziviler Bedarf entstehen könnte. Große autonome UUV bilden den Schwerpunkt der Aktivitäten zumindest der US Navy, die vorrangig an der Entwicklung von Systemen in den Dimensionen herkömmlicher U-Boote interessiert ist.²²³ Ob hierfür auch zivile Anwendungen zu erwarten sind, etwa im Abbau von Rohstoffen, ist momentan nicht einschätzbar.

3.4.4 Verwandte Technologiefelder

Für UMS werden zahlreiche Technologien benötigt, die auch in zivilen Anwendungen Verwendung finden bzw. finden könnten. Das Feld der relevanten dual-use-Technologien reicht

²²² Im Falle der ganz überwiegend militärisch eingesetzten Klein-UAVs setzen deren Hersteller Elektromotoren aus DVD-Geräten und Batterien aus Laptops ein, <http://diydrones.ning.com/profiles/blog/show?id=705844%3ABlogPost%3A1424> (1. 4. 2008).

von Energiespeichern über Antriebssysteme bis hin zu Sensoren und Steuerungssoftware. Hier bestehen vielfältige Möglichkeiten für Technologietransfer, die hier nicht im Einzelnen beleuchtet werden können.

Die relativen Umsätze der verschiedenen Arten von UMS (Abschnitt 3.1.1) liefern Hinweise auf die Bedeutung von militärischem und zivilem Sektor für die Generierung von neuer Technologie. Allerdings müssen noch weitere Märkte, in denen in UMS verwendete Technologien von Bedeutung sind, einbezogen werden, um zu einer realistischen Einschätzung der Bedeutung der UMS-Märkte für die zivile Wirtschaft zu gelangen.

Zunächst sind hier **Roboter** zu erwähnen. Viele Typen von Robotern, insbesondere in der Logistik, sind nicht ortsfest. Sie fahren auf Fahrschleifen oder auch autonom in kontrollierten, vordefinierten Räumen. Viele Technologiekomponenten, insbesondere Sensoren, aber auch Steuerungstechnik, sind nicht prinzipiell unterscheidbar von denen für UGV ohne solche Einschränkungen. Letzteres gilt auch für solche ortsfesten Roboter, die eigenständig auf besondere Situationen reagieren können. Technologisch sind Roboter in vielen Elementen eng mit UMS verwandt. Auch für Roboterherstellung werden Sensoren, mikromechanische Bauteile, elektronische Bauelemente und AI-(artificial intelligence) oder ähnlich komplexe Steuerungssoftware sowie Fertigkeiten in Systemintegration benötigt. Im Gegensatz zu UMS sind die meisten der heute verwendeten (Industrie-)Roboter ortsfest oder nur für Ortsveränderungen in einem kleinen, vorgegebenen und bekannten Umfeld vorgesehen. Allerdings wird in Forschung und Industrie verstärkt an Servicerobotern gearbeitet, die mobil und der Lage sein sollen, mit Menschen zu interagieren und dabei entsprechende Sicherheitsstandards einzuhalten. Der Überlappung von Robotern mit UMS wird damit tendenziell größer.

Der Umsatz der deutschen Roboterindustrie lag 2004 bei ungefähr 1,9 Milliarden €, davon ist der weitaus überwiegende Teil für ortsfeste Montageroboter.²²⁴

Besonders große Aussichten für die Roboter herstellende Industrie werden in japanischen Studien festgestellt. In einem Expertenbericht für das japanische Ministerium für Wirtschaft, Handel und Industrie aus dem Jahre 2004 wird die Robotik als eine der sieben Zukunftssektoren der japanischen Industrie angesehen. Der Marktumsatz japanischer Firmen, die in vielen Bereichen als weltmarktführend angesehen werden, für 2003 wird auf 0,577 Trillionen Yen (4,2 Mrd. €) geschätzt; für 2025 wird ein Umsatz von 6,2 Trillionen Yen (46 Mrd. €) erwartet.²²⁵

Als weiterer Bereich ist die **teilautonome Steuerung von Fahrzeugen** zu nennen.

²²³ Navy, 2004, S. 4.

In mehr als 100 Städten weltweit²²⁶ kommen unbemannte Schienenfahrzeuge zum Einsatz. So gibt es z.B. in Paris, Turin oder New York mit Technik von Siemens installierten vollautomatischen U-Bahnbetrieb auf bestimmten Strecken. In Deutschland wird zur Zeit in Nürnberg die erste vollautomatische U-Bahnlinie Deutschlands in Betrieb genommen.²²⁷ Hauptgründe für den Einsatz sind erhöhte Sicherheit (die kürzere Taktfrequenzen zwischen den Zügen erlaubt) und Kostenersparnisse durch weniger Personal. Allerdings sind auch eine Reihe von Projekten für die Einführung unbemannter Schienensysteme wegen technischer Probleme und tatsächlich höherer Kosten wieder eingestellt worden.²²⁸

Ein weiterer verwandter Markt, der sich rasch ausweiten könnte, ist der für Straßenfahrzeuge. Bereits jetzt werden verschiedene Systeme angeboten, die den Fahrer/die Fahrerin kurzzeitig ersetzen, insbesondere bei Ausfall (Einschlafen) oder markanten Fehlern (Übersteuern) der Fahrerin oder des Fahrers. Dabei kommen UAV-typische Sensoren (Bilderkennung) und Steuerungssoftware zum Einsatz. Soweit erkenntlich werden für diese Systeme generische Technologien genutzt, die sowohl durch zivile wie militärische Finanzierung gefördert wurden. Sollte es zu einer deutlichen Intensivierung der militärischen UAV-Forschung und -Entwicklung kommen, dürfte davon auch die Automobilwirtschaft profitieren – andererseits könnten auch im militärischen Sektor zivil finanzierte Technologien zum Einsatz kommen, da sowohl in der Elektronik- wie auch in der Softwareindustrie die zivil-militärischen Technologie-Barrieren nicht sehr hoch sind.

– geringe Forschungs- und Entwicklungsaufwand. Allerdings haben zivile Anwendungen im Bereich des Satellitenbaus, der Robotik, der Sensoren und der Steuerungssoftware sowohl durch die Stimulierung von Grundlagenforschung durch militärisch finanzierte Programme (u.a. durch Wettbewerbe, siehe Abschnitt 3.5.6) als auch in Einzelfällen durch direkten Technologietransfer von militärischen Programmen profitiert. Überwiegend allerdings stammt die zivile Technologie, soweit dies für diese Studie ermittelt werden konnte, aus zivilen öffentlichen Forschungsprogrammen und privaten Entwicklungsprojekten.

3.5 Deutsche Forschungseinrichtungen

3.5.1 Hochschulen

An einer Reihe von Hochschulen in Deutschland werden Forschung und Entwicklung im Bereich von zivilen unbemannten Fahrzeugen betrieben, in der Regel für UGV in Informatik-Instituten und Instituten für Maschinenbau und Produktionstechnik, für UAV in Luftfahrt-Instituten. Meist geht es dabei um die Untersuchung von spezifischen Aspekten oder die Entwicklung von Prototypen, z.B. für die zahlreich gewordenen Wettbewerbe. Hier gibt

Einzelaspekte mobiler Roboter/autonomer Landfahrzeuge werden in vielen Instituten bearbeitet, von denen hier nur einige beispielhaft genannt werden können.

Das Institut für Technische Informatik und Mikroelektronik, Bereich Prozessdatenverarbeitung und Robotik, in der *TU Berlin* forscht an Exoskeletten und einem autonomen Service-Roboter für Fertigungsumgebungen.

In der *TU Darmstadt* entwickelt das Fachgebiet Simulation, Systemoptimierung und Robotik (Fachbereich Informatik) vier- und zweibeinige Roboter, auch die Kooperation autonomer Roboter ist ein Thema.²³² Das Fachgebiet Regelungstheorie und Robotik befasst sich u.a. mit Spracherkennung für humanoide Roboter und intelligenter Sensorik für autonome mobile Roboter, darunter Stereosehen und Bildverarbeitungsalgorithmen.²³³ Im Bereich Neurobiologie, Robotik und Biosensorik des Biotechnik-Zentrums geht es um zentralnervöse Mechanismen von Hörsystemen und Entwicklung eines Roboters mit akustischer Orientierung.²³⁴ Das Fachgebiet Baubetrieb

auch am Projekt AutoMAV beteiligt (s.u.) und untersucht die Automatisierung unbemannter Drehflügler.²³⁸

Das Fachgebiet Flugmechanik, Flugregelung und Aeroelastizität im Institut für Luft- und Raumfahrt der *TU Berlin* betreibt ein studentisches Projekt zur Entwicklung eines autonom fliegenden UAV und forscht an der Steuerung eines einmotorigen Flugzeugs, das später ggf. auch ohne Piloten/in fliegen können soll.²³⁹ Im Institut für Technische Informatik und Mikroelektronik betreibt der Bereich Prozessdatenverarbeitung und Robotik das Laboratory for Autonomous Flying Robots, das über Kleinhubschrauber und –starrflügler verfügt und an Fragen der Steuerung, Sensordatenverarbeitung, Koordination mehrerer Flugzeuge u.a. arbeitet. Zukünftige Anwendungen seien Transport, Absetzen von Sensornetzwerken und Überwachung.²⁴⁰ Im Institut für Technische Informatik wird ein autonom fliegender Hubschrauber entwickelt.²⁴¹

3.5.2 Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz

Das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI, mit Standorten Kaiserslautern, Saarbrücken, Bremen und Berlin, zusammen mit Hochschulinstituten/-lehrstühlen) hat in Bremen die Forschungsgruppe Robotik mit fünf Forschungsbereichen.²⁴⁶ In der Unterwasserrobotik geht es u.a. um Steuerung und Fortbewegungsmethoden für zukünftige autonome Unterwasserfahrzeuge. Die Weltraumrobotik entwickelt u.a. Systeme für schwer zugängliches und steiles Gelände, multifunktionale Roboterteams und autonome Navigation und Planung in unbekanntem Gelände. Die Logistik- und Produktionsrobotik widmet sich Verbesserungen bei Abläufen und Handhabung.

Im Bereich SAR- & Sicherheitsrobotik (SAR: Search and Rescue) werden Roboter zur Unterstützung von Rettungs- und Sicherheitskräften entwickelt. Schwerpunkte liegen bei

- fahrenden, laufenden und fl

lungsaufträge.²⁴⁹ Der einzige militärische Bezug ist das Projekt SCORPION, ein achtbeiniger Laufroboter, den der Leiter der Arbeitsgruppe, F. Kirchner, an seiner früheren Arbeitsstelle Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung/Fraunhofer-Institut für Autonome Intelligente Systeme mit Förderung der US-DARPA entwickelt hatte und auf den das jetzige Projekt eines Kletterroboters für Kraterhänge (gefördert von DLR und ESA) aufbaut.²⁵⁰ Die Forschungsgruppe Robotik arbeitet zwar mit Rüstungsbetrieben wie Rheinmetall Defence Electronics und Atlas Elektronik zusammen, aber nur mit deren zivilen Abteilungen.

3.5.3 Fraunhofer-Institute

Zivile Forschung und Entwicklung für unbemannte Systeme gibt es in einer Reihe von Fraunhofer-Instituten. Im Fraunhofer-Institut für *Produktionstechnik und Automatisierung* reicht das von der Entwicklung von Steuerungssoftware bis hin zu Prototypen und zur Produktion kleiner

Luna-Drohne.²⁵⁶ Auch entwickelt es patrouillierende Roboter für die Überwachung großer Liegenschaften.²⁵⁷ Fraunhofer-Institute sind führend an Projekten im Rahmen des Sicherheitsforschungsprogramms der Bundesregierung beteiligt.

Tabelle 3-5 Mitgliedsinstitute des Verbunds Verteidigungs- und Sicherheitstechnik in der Fraunhofer-Gesellschaft²⁵⁸

Institut für Kurzzeitdynamik, Ernst-Mach-Institut (EMI), Freiburg/Efringen-Kirchen/Holzen
Institut für Angewandte Festkörperphysik (IAF), Freiburg
Institut für Chemische Technologie (ICT), Pfinztal
Institut für Informations- und Datenverarbeitung (IITB), Karlsruhe
Institut für Naturwissenschaftlich-Technische Trendanalysen (INT), Euskirchen
Institut für Int

– passive Gegenmaßnahmen (minimale Signaturen für Radar / Infrarot / Akustik)“

Das *Institut für Technische Thermodynamik* (Stuttgart) entwickelt mit Partnern das Modell-UAV HyFish (6 kg, 1 m Spannweite) als Demonstrator für Brennstoffzellenantrieb.²⁶¹

Das *Institut für Flugsystemtechnik* (Braunschweig) hat im Rahmen des Projekts WASLA-HALE (Weitreichende abstandsfähige signalerfassende luftgestützte Aufklärung – High Altitude Long Endurance) schon 2004 den Flugversuchsträger VFW-614 ATTAS erfolgreich als funkferngesteuertes UAV eingesetzt; beteiligt waren außerdem die Deutsche Flugsicherung, die Firmen EADS und ESG sowie die Wehrtechnische Dienst

Bahn zu holen“.²⁶⁶ Damit werden die technischen Voraussetzungen geschaffen, zukünftig auch an gegnerische Satelliten anzudocken, sie zu manipulieren oder aus der Bahn zu bringen.

3.5.5 Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften

Die drei Institute der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften FGAN²⁶⁷ bekommen ihre Grundfinanzierung vom Bundesministerium der Verteidigung. Insbesondere das *Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie* (FKIE) bearbeitet UMS-Aspekte.²⁶⁸ Zu seinen Arbeitsgebieten gehören u.a. Aufklärung, Informationsverarbeitung, -verdichtung, -übertragung und -verteilung, Führungs- und Informationssysteme. Ein Projekt behandelte Sensordatenfusion für weiträumige Bodenaufklärung u.a. mit UAV und Satelliten.²⁶⁹ Im Forschungsfeld „Benutzerorientierte Führungssystemgestaltung“ arbeitet es im Auftrag der European Defence Agency (mit Partnern aus Belgien, Italien und Spanien) an „Vernetzten Mehrrobotersystemen“, v.a. an der Kommunikation.²⁷⁰ In der NATO Research Task Group "Military Applications for Multi-Robot Systems" (2005-2007) stellte das FKIE den Vorsitzenden (F. E. Schneider, Abt. Abteilung Ergonomie und Mensch-Maschine-Systeme),²⁷¹ der auch Konferenzen über Mehr-Roboter-Systeme mit veranstaltet hat.²⁷² Bei den European Land-Robot Trials (ELROB) ist er der Vorsitzende und der technische Kontakt (s. Abschnitt 3.5.6).²⁷³

Im Rahmen seiner allgemeinen Arbeiten hat das *Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik* (FHR) einige Projekte mit UAV-Bezug: Eine konforme Gruppenantenne, die auf den Rumpf kleiner Luftfahrzeuge/Flugkörper aufgebracht werden könnte, eine phasengesteuerte Antenne für 94 GHz, die wegen der geringen Wellenlänge (3,2 mm) sehr klein ausfallen kann, und ein semiaktives Radar im Meterwellenbereich, das Marschflugkörper, Aufklärungs- und Kampf-UAV besser entdecken kann.²⁷⁴

²⁶⁶ Das Projekt TECSAS (DLR-Institut für Robotik und Mechatronik mit EADS und Babakin Space Center, Russland) wurde 2006 gestoppt und wird nun als Deutsche Orbitale Servicing Mission (DEOS) fortgeführt, http://www.dlr.de/rm-neu/en/desktopdefault.aspx/tabid-3825/5963_read-8759/ (20. 2. 2008).

²⁶⁷ <http://www.fgan.de> (13. 3. 2008).

²⁶⁸ Zur Einbindung in den Prozess der Rüstungsplanung sowie der militärischen Forschung und Technologieentwicklung in Bezug auf UMS siehe das parallele Gutachten zu Modul 1 von FGAN-FKIE. Koch, 2006.

²⁶⁹ FKIE, 2008. Ein Projekt behandelt „Mehrrobotersysteme in der Vernetzten Operationsführung“, ein anderes heißt „Experimentelles Mensch-Mehrrobotersystem“, FKIE, 2008a, 2008b.

²⁷⁰ F.E. Schneider; Die Research Task Group (IST-058/RTG-024) war Teil des Information Systems Technology (IST) panel der Research & Technology Agency (RTA), http://www.fgan.de/~natoeuro/index_nato.html (2. 4. 2008).

²⁷¹ Z.B. Parker/Schneider/Schultz, 2005.

²⁷² <http://www.fgan.de/~elrob2006/MELROB/2008/> (20. 3. 2008).

²⁷³ FHR, 2008, 2008a, 2008b.

Das *Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung* (FOM) bearbeitet abbildende Sensorik. Schwerpunkte liegen bei Nachrichtengewinnung und Aufklärung und bei der Verbesserung der Waffenwirkung „für den Soldaten und für autonome Systeme mit optronischen Komponenten“. Dabei werden Daten verschiedener Sensoren kombiniert. Die Abteilung Szenenanalyse arbeitet u.a. an der Auswertung multisensorieller Daten von luft- und raumgetragenen Aufklärungssystemen. In der Abteilung Zielerkennung werden u.a. automatische Verfahren zur Objekterkennung für autonome Flugkörper und Drohnen entwickelt.²⁷⁵

3.5.6 European Land-Robot Trial

Der erste dieser Wettbewerbe für autonome Landfahrzeuge wurde 2006 – wohl inspiriert durch den Grand Challenge der US-DARPA (s. Abschnitt 2.1.2.1) – von der Bundeswehr durchgeführt,²⁷⁶ im jährlichen Wechsel gibt es eine zivile und eine militärische Veranstaltung; 2008 findet die militärische M-ELROB am 30. Juni bis 3. Juli in Hammelburg statt. Zu den Wettbewerbern gehören große Rüstungsunternehmen, kleine Betriebe und Hochschulinstitute; die letzteren z.T. mit Industriesponsoren. Tabelle 3-6 zeigt die 14 Teilnehmer aus Deutschland (von 27 insgesamt, Stand Ende März 2008).²⁷⁷

Tabelle 3-6 Die 14 angemeldeten Teilnehmer aus Deutschland an der M-ELROB 2008
Anwendungen: 1. Aufklärung 2. Feldlagersicherheit 3. Transport 4. Maulesel 5. Kampfmittelräumung

Fahrzeug	Institution	Anwendungen, Bemerkungen
RoboScout/Gecko TRS	Base-10, Hallbergmoos	1-4 3.000 kg, mil., Skizze mit Waffe
Telerob	Telerob, Ostfildern	1, 2, 5 2*2 Ketten, ca. 1 m
RTS-MoRob-4x4	Institute for Systems Engineering (ISE) Leibniz-Universität Hannover	1-4 4 Räder, 1,1 m*0,8 m
CANGURU	Diehl BGT, Fraunhofer IITB	1-4 4 Räder, ca. 1 m
AMOR	FB 12, Univ. Siegen	1-4 4 Räder, ca. 1 m
RAVON	FB Informatik, Univ. Kaiserslautern	1-5 4 Räder, ca. 1,8 m
Rugbot	Jacobs-Universität Bremen	1, 2, 5 2 Räder m. Ausleger, 0,5 m
MuCar-3	Univ. d. Bundeswehr München	3, 4 VW Touareg
P-08 Traxx	Borjet, Baint/Schachen	1-4 Plan, modular
Heidelcar	FH Heidelberg	1 Daimler Geländefz.
AR-100B	AirRobot, Arnsberg	1 Micro-Quad-Helicopter
Trobot	Rheinmetall Defence Electronics	2-4 8 Räder, ca. 2 m
Wiesel 2 digital		1,3 Kette, ca. 4 m
Knight	ForceWare, Eningen	1, 4, 5 Kette, ca. 1,3 m
Lambda01 RACAR	Wendl, SAS, Rosenheim	1, 2 Kette

²⁷⁵ FOM, 2008, 2008a, 2008b. Projekte werden nicht angegeben, da sie der Geheimhaltung unterliegen.

²⁷⁶ Schneider, 2006.

²⁷⁷ <http://www.fgan.de/~elrob2006/MELROB/2008/> (20. 3. 2008).

3.5.7 Zusammenfassung

Stärker als z.B. in den Vereinigten Staaten sind die Forschung und Entwicklung von zivilen und militärischen unbemannten Systemen in Deutschland überwiegend getrennt. Obwohl belastbare Zahlen für diese Studie nicht ermittelt werden konnten, erscheint es plausibel anzunehmen, dass die Forschung zu unbemannten Systemen in Forschungsinstituten in Deutschland im Vergleich sowohl zu den USA als auch etwa zur industriellen Forschung zu Industrierobotik nicht sehr umfangreich ist.²⁷⁸ Insgesamt dürfte sie auch, gemessen an Finanzvolumina, deutlich geringer sein als die Forschung und Entwicklung für militärische Systeme, die überwiegend in Ingenieurbüros und Unternehmen stattfinden.²⁷⁹ Diese Unternehmen werden im nächsten Abschnitt untersucht. Auch zwischen den verschiedenen Typen von Forschungsinstituten sind deutliche Unterschiede erkennbar. In Hochschulen findet fast ausschließlich Forschung zu zivilen Systemen statt. DLR und Fraunhofer-Institute sind sowohl auf zivile Anwendungen im Bereich der Sicherheitsforschung und andere Dual-Use-Anwendungen als auch auf direkte militärische Anwendungen orientiert. Die FGAN ist überwiegend in militärischen Projekten involviert. Aber auch hier bleibt das Volumen zumindest bisher beschränkt.

3.6 Relevanz von UMS für die wehrtechnischen Kernfähigkeiten sowie die FuE-Basis in Deutschland

In der Gemeinsamen Erklärung des Bundesverteidigungsministeriums und des Ausschusses Verteidigungswirtschaft des Bundesverbandes der Deutschen Industrie zu den *Nationalen Wehrtechnischen Kernfähigkeiten*²⁸⁰ werden insgesamt 14 militärische Systeme und drei technische Fähigkeiten benannt. In den Kernfähigkeiten sollen gleichzeitig die wichtigsten Anforderungen der Bundeswehr und die Fähigkeiten, insbesondere die Systemfähigkeit,²⁸¹ der deutschen Rüstungsindustrie erfasst werden. Beide Komponenten sollen im Folgenden kurz betrachtet werden.

²⁷⁸ Der Umfang von dezidierten Forschungsförderprogrammen zu UMS außerhalb der Industrie ist gering. Dem stehen allerdings die zahlreichen einschlägig benannten Forschungsvorhaben an Universitäten gegenüber, deren Kosten und Personalaufwand im Rahmen dieser Studie nicht geschätzt werden kann.

²⁷⁹ Insbesondere im Bereich der großen UAV, wie Barracuda und der UUV, siehe Kapitel 2.

²⁸⁰ http://www.bmvg.de/portal/PA_1_0_P3/PortalFiles/C1256EF40036B05B/W2795HZA433INFODE/gemeinsame_erklaerung.pdf?yw_repository=youatweb (1. 4. 2008).

²⁸¹ Die Fähigkeit, komplexe Waffensysteme herzustellen und zu betreuen, siehe <http://www.trend-zeitschrift.de/trend82/8257.html> (1. 4. 2008).

3.6.1 Anforderungen

Die Anforderungen der Bundeswehr sind aus der in den Konzeption der Bundeswehr festgelegten sechs militärischen Fähigkeiten: Führungsfähigkeit, Nachrichtengewinnung und Aufklärung, Mobilität, Wirksamkeit im Einsatz, Unterstützung und Durchhaltefähigkeit, Überlebensfähigkeit und Schutz abgeleitet.²⁸² Sie umfassen ein weites Feld von Aufgaben. Aus ihnen lassen sich Prioritäten für bestimmte Technologien, deren Herstellung in Deutschland gefördert werden sollte, nicht unmittelbar ableiten, sie eröffnen vielmehr ein weites Feld technischer Möglichkeiten. Deshalb kann es nicht verwundern, dass die Liste der wehrtechnischen Kernfähigkeiten, die sich die Bundeswehr gibt, fast das gesamte Spektrum an Rüstungstechnologie umfasst, über das die Bundeswehr verfügt bzw. in den nächsten Jahren verfügen möchte. Das gemeinsame Papier von Verteidigungsministerium und Rüstungsindustrie verzichtet weitgehend darauf, Prioritäten auszuwählen, die darauf hinausliefen, Teile der momentan bestehenden Kapazitäten der deutschen Rüstungsindustrie als nicht zukunftsrelevant einzustufen.

Unter den 14 in der gemeinsamen Erklärung vom November 2007 genannten Fähigkeitskategorien finden sich drei, die in dieser Studie untersuchte UMS, zum Teil direkt (UAV, autonome UUV) und zum Teil indirekt (Satelliten), betreffen. Lediglich UGV werden nicht erwähnt. Für die „raumgestützte Aufklärung“, die an erster Stelle der Kernfähigkeiten steht, nehmen Satelliten eine zentrale Rolle ein. Hier ist das Radarfernerkundungssystem SAR-Lupe eines der Kernelemente. Diese Prioritätensetzung ist Ausdruck des Zieles der Bundeswehr, der Fähigkeit zur Erstellung eines eigenen „nationalen“ Lagebildes bei Auslandseinsätzen.²⁸³ Neben der Aufklärung mit Satelliten ist für diese Fähigkeit auch die Verfügung über UAV von großer Bedeutung. UAV werden als fünfte Kernfähigkeit aufgelistet, autonome UUV als Teilkategorie gemeinsam mit U-Booten als zehnte Kategorie.²⁸⁴

3.6.2 Systemfähigkeiten der Industrie

Der Bau von militärischen Satelliten in Deutschland war bisher auf wenige Systeme beschränkt. Allerdings hat die deutsche Satellitenindustrie, mit starker staatlicher Förderung in den letzten Jahren, erhebliche Fortschritte mit der Entwicklung eigenständiger Systemfähigkeit in zivilen Teilbereichen (Kommunikationssatelliten, geostationäre Satelliten) gemacht,

²⁸² Siehe die parallelen Gutachten zu Modul 1 von Rheinmetall/DFKI und FGAN-FKIE.

²⁸³ Siehe http://www.uni-weimar.de/architektur/e+gel1/projekte/kosovo00/zeit_12.html (1. 4. 2008) zu den schlechten Erfahrungen der Bundeswehr mit der Unterstützung durch die Verbündeten im Kosovoeinsatz.

²⁸⁴ http://www.bmvg.de/portal/PA_1_0_P3/PortalFiles/C1256EF40036B05B/W2795HZA433INFODE/gemeinsame_erklaerung.pdf?yw_repository=youatweb (1. 4. 2008).

die auf Grund der Nähe zu militärischen Anwendungen auch für den Bau von militärischen Satellitensystemen von erheblicher Bedeutung sind.

Im Bereich von UAV ist das Konzept der Systemfähigkeit auf Grund des großen Spektrums von wenig zu sehr komplexen Systemen weniger aussagekräftig. Deutsche Firmen sind in der Lage, kleine und mittlere UAV-Systeme zu bauen (siehe unten). Große Systeme, wie der Euro Hawk, werden in Koproduktion gebaut. Hier fehlt zumindest bisher die Systemfähigkeit. Diese wird wiederum mit dem UCAV Barracuda angestrebt.

Im Bereich der UUV wie der UGV hat die deutsche Rüstungsindustrie ebenfalls Systemfähigkeit bei kleineren und mittleren Systemen (siehe Abschnitt 3.6.3).

Insgesamt lässt sich feststellen, dass die deutsche Rüstungsindustrie über Systemfähigkeit in vielen Bereichen verfügt. Überwiegend handelt es sich dabei um Systemfähigkeit für wenig bis mittelkomplexe Systeme, während diese bei hochkomplexen Systemen zumindest bisher noch nicht vorhanden ist (siehe Abschnitt 3.6.3).

3.6.3 Die wichtigsten Hersteller

Die auf dem Gebiet der UMS tätigen Firmen lassen sich grob in drei Kategorien einteilen. Zum einen die großen Rüstungsfirmen, die auch UMS in ihrem Portfolio führen. Zum zweiten meist kleinere Firmen, die sich jedoch ausschließlich auf unbemannte Systeme konzentrieren, einige bisher nur auf zivilem Gebiet (siehe auch Abbildung 3-2). Und als dritte Kategorie die Zulieferer verschiedenster Systemkomponenten in vielfältiger Größe und Ausgestaltung. Zahlreiche Angaben zu relevanten Firmen sind in Anhang 3-2 zu finden, dort werden auch weitere Quellen aufgeführt.

Mit Abstand größter deutscher Hersteller ist **EADS**, ein weltweit führendes Unternehmen der Luft- und Raumfahrt sowie im Verteidigungsgeschäft und dazugehörigen Dienstleistungsbereich. Military Air Systems (MAS) und Defence Electronics, beide integrierte Geschäftsbereiche von **EADS Defence & Security (DS)**, sind das Kompetenzzentrum für alle bemannten und unbemannten fliegenden Militärsysteme innerhalb der EADS. Im Jahr 2006 erzielte DS mit rund 23.000 Mitarbeitern einen Umsatz von 5,900 Milliarden €. ²⁸⁵ Auf Grund des breiten Portfolios der Firma war der Anteil von UAV am Gesamtumsatz gering. ²⁸⁶ Bei EADS und in ihren Tochterfirmen werden eine Reihe von Drohnen und Kleinhubschraubern entwickelt und gefertigt. Umsatzstärkstes Produkt in der nahen Zukunft wird der Euro Hawk werden, für dessen Fertigung die **Euro Hawk GmbH**, zu je 50% in Besitz von EADS und dem führenden

²⁸⁵ EADS Homepage, <http://www.eads.com/1024/de/businet/defence/defence.html#1707> (31. 3. 2008).

amerikanischen Rüstungskonzern Northrop Grumman, im Januar 2007 einen 430-Mio.-€-Auftrag des Verteidigungsministeriums erhielt.²⁸⁷

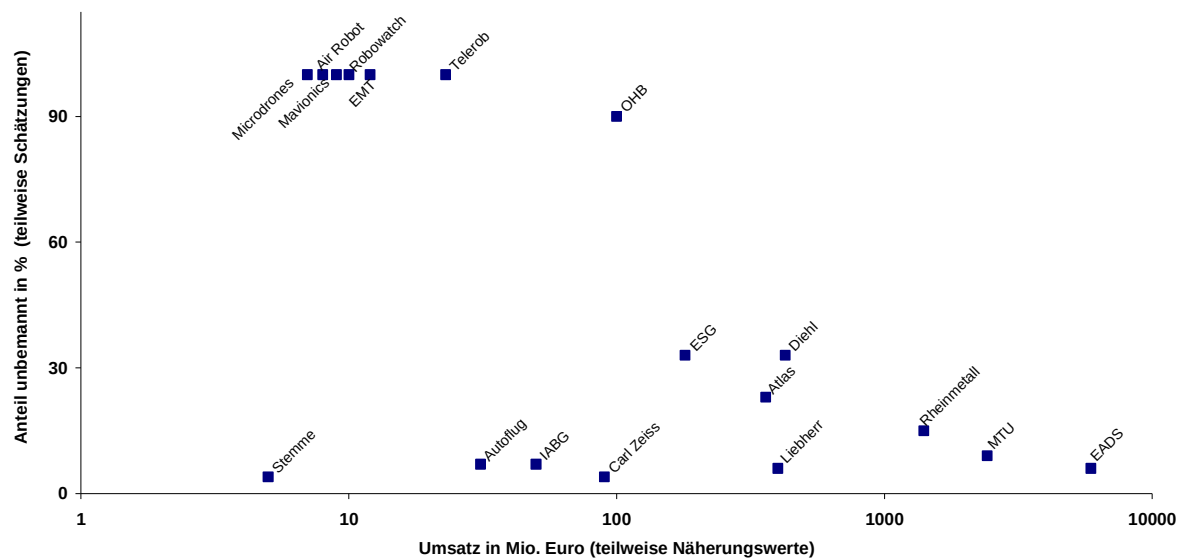


Abbildung 3-2 Deutsche Firmen im Bereich der UMS: Anteil unbemannt gegen Umsatz (z.T. geschätzt)

Atlas Elektronik GmbH (im Besitz von EADS und Thyssen) ist der führende deutsche Hersteller von Marineelektronik. Der Jahresumsatz betrug 2006 360 Millionen €, den knapp 2000 Mitarbeiter erwirtschafteten.²⁸⁸ Circa 95 Prozent des Umsatzes werden im militärischen Bereich getätigt. UMS, vor allem Torpedos, haben einen Anteil von 20-25 Prozent.²⁸⁹ Laut Unternehmenskommunikation setzt die Firma seit 2006 verstärkt auf die Entwicklung von Autonomous Underwater Vehicles.

Die **Rheinmetall Defence Electronics GmbH (RDE)**, in der die UMS-relevanten Aktivitäten (UAV und UGV) des Rheinmetall-Konzerns konzentriert sind, erwirtschaftete 2005 einen Umsatz von 1,402 Milliarden € mit rund 6.800 Mitarbeitern weltweit.²⁹⁰ Der Anteil von UMS am Umsatz wird mit derzeit 15 Prozent und zukünftig 25 Prozent angegeben.²⁹¹ Rheinmetalls wichtigstes Produkt war über viele Jahre die Zieldrohne KZO.

²⁸⁶ http://www.eads.com/1024/de/pressdb/pressdb/Defence%20&%20Security/20070201_ds_eurohawk.html (1. 4. 2008). Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

²⁸⁷ EADS Homepage, http://www.eads.net/1024/de/pressdb/archiv/2007/2007/20070201_ds_eurohawk.html (31. 3. 2008).

²⁸⁸ Atlas Homepage, <http://www.atlas-elektronik.com/index.php?id=493> (31. 3. 2008).

²⁸⁹ www.wer-zu-wem.de (3. 3. 2008).

²⁸⁹ Eigene Schätzung.

²⁸⁹ www.wer-zu-wem.de; telefonische Befragung Atlas Elektronik, März 2008.

²⁹⁰ Caribou Verlag Firmendatenbank, www.wer-zu-wem.de (3. 3. 2008).

²⁹¹ email-Befragung März 2008

Die Firma **Diehl BGT Defence**, ein Zusammenschluss der Firmen Bodenseewerk Gerätetechnik GmbH und Diehl Munitionssysteme GmbH & Co. KG, ist Halter der deutschen System-Lizenz des Predator-B-Herstellers General Atomics. Darüber hinaus entwickelt die Firma auch weitere UAV sowie in geringerem Maße auch UGV. Mit ca. 1650 Mitarbeitern wird ein jährlicher Umsatz von über 400 Millionen € erwirtschaftet.²⁹² Der Prozentsatz von UMS liegt nach eigenen Schätzungen im zweistelligen Bereich.²⁹³

Zu den kleineren, jedoch sehr stark auf UMS-Technologien spezialisierten Firmen gehört **Air Robot GmbH & Co. KG**, deren Airrobot (Micro-UAV) sowohl bei der Bundeswehr als auch bei der Polizei in NRW sowie beim THW im Einsatz ist. **Mavionics GmbH**, ein spin-off-Unternehmen der Universität Braunschweig, vertreibt seine Carolo-UAV-Serie nur zivil. Jedoch wird Carolo 50 der Uni Braunschweig über Rheinmetall vertrieben. Technologietransfer in beide Richtungen scheint hier leicht möglich. Die erst 2005 gegründete Firma **Microdrones GmbH** konnte ihr UAV-Gesamtsystem MD4-200 bereits rund 300 mal verkaufen, darunter auch an ausländische Streitkräfte. Diese Firma arbeitet derzeit gemeinsam mit **Robowatch Technologies GmbH** an einem kombinierten UGV-UAV. Robowatch ist eines der weltweit führenden Unternehmen für Überwachungsroboter. Die Defence-Sparte des Unternehmens vertreibt vor allem Roboter zur Minenräumung. Ähnliches produziert auch die Firma **Telerob Gesellschaft für Fernhantierungstechnik mbH**, die zu über 50 Prozent der Rheinmetall Landsysteme GmbH gehört.²⁹⁴

Die größte der UAV-Spezialfirmen ist **EMT Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer mbH**, die verschiedene Typen von Drohnen entwickelt und fertigt. EMT hatte ein Umsatzvolumen von mehr als 10 Mio. € im Jahre 2006.²⁹⁵ Die Drohnen ALADIN und LUNA sind bei der Bundeswehr im Einsatz. Die Firma versucht, den Vertrieb auch mehr auf den zivilen Markt auszubauen.

Ein Überblick der wichtigsten Zulieferer-Firmen findet sich in der Firmentabelle in Anhang 3-2.

3.6.4 Zusammenfassung

Der hohe Stellenwert, der UMS in der autoritativen gemeinsamen Stellungnahme des Bundesverteidigungsministerium und der deutschen Rüstungsindustrie gegeben wird, entspricht nicht der gegenwärtigen Bedeutung von UMS in der Bundeswehr und der Rüstungsindustrie. Offensichtlich werden aber von beiden Seiten erhebliche Zuwachsraten erwartet. Bundeswehr

²⁹² Caribou Verlag Firmendatenbank, www.wer-zu-wem.de (3. 3. 2008).

²⁹³ Eigene Schätzung.

²⁹⁴ Alle Informationen von den Internetseiten der Firmen, siehe Firmenliste Anhang 3-2.

und Rüstungsindustrie stimmen darin überein, dass UMS eine der wichtigsten Technologien der Zukunft für die deutsche Rüstungsindustrie sein werden. Die Bundeswehr geht davon aus, dass UMS in Zukunft weit stärker zum Einsatz kommen werden als in der Vergangenheit.²⁹⁶ Die deutsche Rüstungsindustrie erwartet, dass sowohl der Markt für militärische UAV als auch für militärische USV/UUV in der Zukunft lukrativer wird, als er gegenwärtig ist. Neben der Bundeswehr als Nachfrager setzt die Industrie dabei auch auf Exporte von militärischen UAV und USV/UUV.

Der Realismus dieser Erwartungen lässt sich in Frage stellen. Insgesamt sind die Umsätze der Firmen mit militärischen UMS gegenwärtig eher gering im Vergleich zu den Umsätzen mit bemannten Systemen. Das gilt insbesondere für die großen Rüstungsfirmen in Deutschland. Nur wenige, kleine Firmen sind auf die Entwicklung und Herstellung von UMS spezialisiert. Im hohen Stellenwert, der UMS zugesprochen wird, spiegeln sich vielmehr Zukunftserwartungen, die nur teilweise durch die Fähigkeiten der Industrie abgedeckt sind. Dies könnte sich nur dann ändern, wenn deutlich mehr in militärische UMS Forschung und Entwicklung investiert wird. Fraglich ist insbesondere, ob die deutsche Industrie im internationalen Wettbewerb bestehen kann. Das Bundesverteidigungsministerium sichert in dem genannten Papier der deutschen Rüstungsindustrie Unterstützung bei ihren Exportbemühungen zu.

Anders als in den USA scheint die deutsche Luftrüstungsindustrie nicht darüber besorgt zu sein, mit der Einführung von UAV Produktionsvolumen zu verlieren. In den USA werden die wirtschaftlichen Auswirkungen einer weitgehenden Umstellung von bemannten auf unbemannte Systeme in der Branche kontrovers diskutiert. Einerseits wird ein Wachstumsmarkt gesehen, andererseits könnte das zu geringeren Umsatzvolumina für bemannte Systeme und zur Schwächung der Fähigkeit der Industrie führen, bemannte Systeme herzustellen.²⁹⁷

²⁹⁵ Eigene Schätzung.

²⁹⁶ S. auch die Gutachten zu Modul 1 von Rheinmetall/DFKI und FGAN-FKIE.

²⁹⁷ Geer, 2005: S. 35ff.

Literatur zu Kapitel 3

- ADSE, 2008: Presentation of ADSE UCAV Study at UAV DACH meeting, Hoofddorp, Februar 2008, Anlage 15.
- Bolkcom, C., Nuñez-Neto, B., 2006: Homeland Security: Unmanned Aerial Vehicles and Border Surveillance, CRS Report RS21698, Updated November 17, 2006, <http://www.ilw.com/immigdaily/news/2007,1101-crs.pdf> (29. 7. 2008).
- A. Bredenfeld, H.-D. Burkhard, M. Riedmiller, R. Rojas, KI auf dem Fußballfeld, c't Nr. 13/2006, S. 102.
- Butcher, D.R., 2006: Unmanned Vehicles Earning Their Stripes: Ground, Air, Sea, Internetplattform "Thomasnet.com", May 10, http://news.thomasnet.com/IMT/archives/2006/05/unmanned_vehicles_redefining_warfare_ground_air_sea.html?t=archive (23. 8. 2007).
- Dean, S.E., 2004: Unmanned Underwater Vehicles der US-Navy – Sachstand und Tendenzen, in: Marine-Forum 3-2004, S. 17.
- Department of Defense, 2007: UMS Roadmap 2007-2032, Washington DC: US Department of Defense.
- Department of Homeland Security, 2007: Fact Sheet: Improving Border Security and Immigration Within Existing Law, Release Date: August 10, 2007, http://www.dhs.gov/xnews/releases/pr_1186757867585.shtm (29. 7. 2008)
- FHR (Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik), 2008: Konforme Gruppenantenne für das Experimentalsystem ERAKO, http://www.fhr.fgan.de/fhr/fhr_c325_f4_de.html (27. 4. 2008).
- FHR (Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik), 2008a: Phased Array bei 94 GHz, http://www.fhr.fgan.de/fhr/fhr_c365_f2_de.html (27. 4. 2008).
- FHR (Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik), 2008b: Semiaktives Radar im Meterwellenbereich, http://www.fhr.fgan.de/fhr/fhr_c609_f7_de.html (27. 4. 2008).
- FKIE (Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie), 2008: Vernetzte Mehrrobotersysteme, http://www.fgan.de/fkie/fkie_c179_f16_de.html (27. 4. 2008).
- FKIE (Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie), 2008a: Mehrrobotersysteme in der Vernetzten Operationsführung, http://www.fgan.de/fkie/fkie_c136_f16_de.html (27. 4. 2008).

- FKIE (Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie), 2008b: Experimentelles Mensch-Mehrrobotersystem, http://www.fgan.de/fkie/fkie_c119_f16_de.html (27. 4. 2008).
- FOM (Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung, 2008: Forschung, http://www.fgan.de/fom/fom_c2_de.html (27. 4. 2008).
- FOM (Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung, 2008a: Szenenanalyse, http://www.fgan.de/fom/fom_c16_de.html (27. 4. 2008).
- FOM (Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung, 2008b: Zielerkennung, http://www.fgan.de/fom/fom_c17_de.html (27. 4. 2008).
- Forecast International, 2006: Unmanned Vehicles Forecast, Newtown CT: Forecast International.
- Friedl, A., 2008: Applications of UAS in police service, Presentation at UAV DACH Conference at ILA 2008, Berlin-Schönefeld, 30 May 2008, http://www.uavdach.org/Dokumente/content/ILA/14__Friedl_Applic-Pol-ILA08.pdf (10. 6. 2008).
- Frost&Sullivan, 1998: World Markets for Military, Civil and Commercial Unmanned Aerial Vehicles. London: Frost & Sullivan.
- Geer, H., 2005: Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress, CRS Report for Congress, Washington DC, Updated November 21, 2005.
- Glockner, M., Martin, A., von Stryk, O., 2005: Optimale kooperative Steuerung von Mehrflugzeugsystemen, thema Forschung (TU Darmstadt), Nr. 3, S. 14-18, <http://www.sim.tu-darmstadt.de/publ/download/2005-forschung03-a3.pdf> (5. 3. 2008).
- Jane's, 2007: Jane's Unmanned Vehicles and Aerial Targets, Coulsdon: Jane's.
- Koch, W., 2006: Sensordatenfusion für weiträumige Bodenaufklärung: Auswerteverfahren für eine deutsche Bodenstation, S. 26 f. in Forschung und Technologie 2006, BMVg-Jahresbericht 2006, Bonn: Bundesministerium der Verteidigung, http://www.vvs.fraunhofer.de/pdf/DIV_00003.pdf (20. 3. 2008).
- Kommission der Europäischen Gemeinschaften, 2007: Mitteilung der Kommission an das Europäische Parlament und den Rat über den Dialog zwischen öffentlichem und privatem Sektor im Bereich Sicherheitsforschung und Innovation, KOM(2007) 511 endgültig, Brüssel, 11. 9. 2007.
- Lake, D., 2007: The Market for UUVs, in: Unmanned Vehicles, Februar 2007.
- Larson, G.C., 2008: UAVs, or Nothing Can Go Wrong, Go Wrong, Aviation Week and Space Technology, Jan 29, 2008, S. 29.

- Lewis, W.K., 2002: UCAV – The Next Generation Air Superiority Fighter?, Thesis Presented to the Faculty of the School of Advanced Airpower Studies, Air University, Maxwell Air Force Base AL.
- Lionnet, P., 2007: ASD-Eurospace: Eurospace facts and figures, [ohne Ort], www.space-library.com/0705Eurospace_fandf2007.pdf (29. 7. 2008).
- Nakagawa, 2004: Nakagawa Report – Toward a Sustainable and Competitive Industrial Structure, Tokyo: Ministry of Economy, Trade and Industry.
- Navy, 2004: UUV Master Plan 2004, Washington DC: Department of the Navy, <http://www.navy.mil/navydata/technology/uuvmp.pdf> (23. 8. 2007).
- NDIA (National Defense Industry Association), 2004: Open Architecture, Dual Commercial/Military Use of Large Displacement Unmanned Undersea Vehicles, http://www.ndia.org/Content/ContentGroups/Divisions1/Undersea_Warfare/USW_uuv_study_final_report.pdf (14. 4. 2008).
- OSD (Office of the Secretary of Defense), 2005: UAS Roadmap 2005-2030, Washington DC.
- Parker, L.E., Schneider, F.E., Schultz, A.C. (eds.), 2005: Multi-Robot Systems. From Swarms to Intelligent Automata, Volume III, Proceedings from the 2005 International Workshop on Multi-Robot Systems, Amsterdam: Springer Netherlands.
- Sarris, Zak, 2001. Survey of UAV Applications in civil markets, http://med.ee.nd.edu/MED9/Papers/Aerial_vehicles/med01-164.pdf (29. 7. 2008).
- Satellite Industry Association, 2007: State of the Satellite Industry Report, [ohne Ort], <http://www.sia.org/PDF/2006SIASateofSatelliteIndustryPres.pdf> (29. 7. 2008).
- Schneider, F.E., 2006: Europäische Leistungsschau für Landroboter (ELROB2006), S. 36 f. in Forschung und Technologie 2006, BMVg-Jahresbericht 2006, Bonn: Bundesministerium der Verteidigung, http://www.vvs.fraunhofer.de/pdf/DIV_00003.pdf (20. 3. 2008).
- Space Foundation 2007: Space Report 2007 Update, Colorado Springs, Oct 10, 2007, <http://www.spacefoundation.org/news/story.php?id=412> (29. 7. 2008).
- Teal Group, 2007: World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast 2007, Fairfax VA: Teal Group.
- VisionGain, 2007: The Emerging UUV and UGV Markets: Forecasts and Business Opportunities to 2020, San Francisco CA: VisionGain.
- Zemp, J., 2008: Civil UAV applications in Switzerland, Presentation at UAV DACH Conference at ILA 2008, Berlin-Schönefeld, 30 May 2008, http://www.uavdach.org/Dokumente/content/ILA/13_soccerfield-RANGER.pdf (10. 6. 2008).

Anhang 3-1

Transfers of large UAVs: sorted by supplier. Deals with deliveries or orders made for year range 1990 to 2006

Note: The 'No. delivered/produced' and the 'Year(s) of deliveries' columns refer to all deliveries since the beginning of the contract. Deals in which the recipient was involved in the production of the weapon system are listed separately. The 'Comments' column includes publicly reported information on the value of the deal. Information on the sources and methods used in the collection of the data, and explanations of the conventions, abbreviations and acronyms, can be found at URL <<http://armstrade.sipri.org/>>. The SIPRI Arms Transfers Database is continuously updated as new information becomes available.

Microdrones and target drones are not covered.

Source: SIPRI Arms Transfers Database

Information generated: 09 March 2008

Supplier/ recipient or licensor	No. ordered	Weapon designation	Weapon description	Year of order/ licence	Year(s) of deliveries	No. delivered/ produced	Comments
France							
Canada	6	Sperwer	UAV	2003	2003	6	CAD34 m (\$24 m) deal (incl 2 ground control stations); originally 4 delivered but 2 more delivered after 2 crashed; bought for use in Afghanistan
	5	Sperwer	UAV	2006	2006	(5)	CAD15 m deal; assembled from kits in Canada
Denmark	(12)	Sperwer	UAV	1999	2001-2002	(12)	\$55 m deal (incl 2 launchers); Danish designation Törnfallen
Greece	(8)	Sperwer	UAV	2002	2004-2006	(8)	Part of EUR36 m (\$35 m) deal for 2 Sperwer UAV systems
	(8)	Sperwer	UAV	2006			Part of 2 Sperwer UAV systems
Indonesia	4	Fox	UAV	(2000)	2000	(4)	Fox AT-1 version
Netherlands	(32)	Sperwer	UAV	1995	1999-2000	(32)	\$82 m deal
Sweden	(4)	Sperwer	UAV	1998	1999-2000	(4)	
Germany (FRG)							
France	12	CL-289	UAV	2002	2002	12	Ex-FRG
Pakistan	..	Luna	UAV	2006			For 3-4 Luna UAV systems
Iran							
Lebanon/Hizbollah	8	Mahajer	UAV	(2004)	2004	8	Probably Mahajer-4 version; Hizbollah designation Mirsad-1
Israel							
Australia	(15)	I-View	UAV	2005			AUD145 m 'Project JP-129/Phase-2'; I-View-250 version; delivery probably from 2007/2008
Belgium	18	B-Hunter	UAV	1998	2001-2002	(18)	\$73 m deal

Cote d'Ivoire	(2)	Aerostar	UAV	(2003)	2003	(2)	
Cyprus	2	Searcher UAV	UAV	(2002)	2002	(2)	
Finland	6	Ranger	UAV	1999	2001	6	\$20 m deal; ordered via Swiss company
	6	Ranger	UAV	2003	2005	(6)	\$20 m deal; ordered via Swiss company; Ranger-2 version
France	(6)	Hunter UAV	UAV	(1995)	1997	(6)	Deal worth \$50 m
	3	Eagle	UAV	2001			'SIDM' programme; delivery 2007
Georgia	(1)	Aerostar	UAV	(2004)	2005	(1)	
India	(12)	Searcher UAV	UAV	(1996)	1998	(12)	No. could be up to 36
	32	Searcher UAV	UAV	(2000)	2001-2002	(32)	Part of \$300 m deal; Searcher-2 version; bought after experiences in 1999 fighting with Pakistan
	(8)	Heron	UAV	(2001)	2002-2003	(8)	
	(8)	Searcher UAV	UAV	2002	2003	(8)	Searcher-2 version
	(4)	Heron	MP UAV	(2003)	2005	(4)	
	(16)	Heron	UAV	(2005)	2006	(5)	Possibly \$200-266 m deal; Eagle version; no. may be up to 50
Indonesia	4	Searcher UAV	UAV	2006			Part of \$6 m deal; delivery 2007; contract possibly not yet signed
Nigeria	(9)	Aerostar	UAV	2006			Part of \$260 m deal; part of 3 Aerostar UAV systems
Philippines	2	Blue Horizon	UAV	2001	2001	2	Deal worth \$1-1.2 m or \$2-12 m; for use against Abu Sayyaf and other Muslim rebels; possibly delivered from Singapore
Singapore	(60)	Scout	UAV	(1988)	1989-1991	(60)	
	(10)	Searcher UAV	UAV	(1997)	1998-1999	(10)	Searcher-2 version
Sri Lanka	(6)	Scout	UAV	(1995)	1998	(6)	Second-hand; \$4.3 m deal; Super Scout version; modernized before delivery; for use against LTTE
	(2)	Scout	UAV	(2000)	2001	(2)	Super Scout version; for use against LTTE rebels
	(2)	Searcher UAV	UAV	(2000)	2001	(2)	For use against LTTE rebels
Thailand	4	Searcher UAV	UAV	(2000)	2001	(4)	\$12 m deal
Turkey	10	Heron	UAV	2005			\$183 m deal (offsets 30%); delivery 2007
Unknown country	(2)	Aerostar	UAV	(2003)	2003	(2)	Recipient is an African country
	(2)	Aerostar	UAV	(2003)	2003	(2)	Recipient is an African country
USA	48	Pioneer	UAV	(1986)	1987-1990	(48)	US designation RQ-2; possibly incl assembly or licensed production in USA
	(62)	Hunter UAV	UAV	1992	1993-1996	(62)	Deal incl 7 ground-control systems; ordered via US company; possibly assembled in USA; US designation RQ-5A
South Africa							
Algeria	(10)	Seeker	UAV	(1998)	1998-1999	(10)	\$20 m deal
UAE	(4)	Seeker	UAV	(1995)	1996	(4)	
	(5)	Seeker	UAV	(2002)	2003	5	
USA							
Italy	(4)	RQ-1A Predator	UAV	2001	2004	(4)	Deal worth \$55 m; option on 2 more
NATO	(4)	RQ-4A Global Hawk	UAV	(2006)			Part of EUR3.3 b 'NATO AGS' programme; contract not yet signed; delivery possibly from 2012
Poland	(6)	RQ-7 Shadow-200	UAV	(2006)			\$73 m deal (financed by US 'FMF' aid)

Romania	(60)	Shadow-600	UAV	(1997)	1999-2000	(60)	\$23 m deal
	5	Shadow-600	UAV	2000	2001	(5)	\$7.5 m deal
South Korea	(4)	Shadow-600	UAV	2000	2001-2002	(4)	
	6	Gnat	UAV	1994	1995	(6)	Deal worth \$6-20 m incl 2 control stations
	2	Gnat	UAV	1998	1998	2	I-Gnat version
United Kingdom	2	RQ-1A Predator	UAV	(2006)			Predator-B version
Licensed production:							
USA							
Germany (FRG)	(4)	RQ-4A Global Hawk	UAV	(2005)			Possibly EUR600 m deal (incl sensors from FRG and other European companies); for ELINT; Euro Hawk version; delivery 2007; contract not yet signed
Israel							
Switzerland	28	Ranger	UAV	1996	1998-2001	(28)	For 4 ADS-95 UAV reconnaissance systems; incl assembly/production in Switzerland
UK	..	Hermes-450	UAV	2005			Part of GBP700 m (\$1.2 b) 'Watchkeeper' programme (incl GBP300m for producer of Hermes-450; most produced in UK); UK designation WK-450; delivery from 2010
USA	(2)	Aerostar	UAV	2004	2004	(2)	For training

Anhang 3-2

Deutsche Firmen mit Forschung, Entwicklung und Herstellung im Bereich UMS (militärisch und zivil)^{299, 300}

Firma	Hauptstandort	Internetseite	Produkte	Umsatz in Mio. €	Anteil unbemannt am Umsatz	Anteil Rüstung am Umsatz	Beschäftigte	UAV/UGV/USV/UUV
Air Robot GmbH & Co. KG	Arnsberg	www.airrobot.com	Micro-UAV AirRobot	< 10	100%	gering ³⁰¹	15	UAV
Atlas Elektronik GmbH	Bremen	www.atlas-elektronik.de	ROV und AUV: SeaFox, SeaWolf, SeaOtter	360	20-25% ³⁰²	ca. 95%	1750	UUV
Autoflug GmbH	Rellingen	www.autoflug.com	Mess- und Regeltechnik, kreiselgestützte Sensoren	31	gering ³⁰³	gering ³⁰⁴	224	UAV
Carl Zeiss Optronics	Oberkochen	www.zeiss-optronic.com	Optische Systeme	90	gering ³⁰⁵	gering ³⁰⁶	375	UAV/

²⁹⁹ Quellen: Hoppenstett, www.wer-zu.wem.de, UAV DACH, Deutsche Gesellschaft für Wehrtechnik, UAV World Conference 2007, UAS Yearbook, ELROB, www.geopowers.com, SIPRI Top 100, Jane's 2007, European Security Directory 1st edition ESD Partners, Shephard Press Group Datenbank, weitere Presseartikel, Befragung der Firmen per Telefon und email

³⁰⁰ Eine Reihe weiterer Firmen, vor allem Zulieferer, werden hier nicht detailliert behandelt, jedoch namentlich kurz aufgelistet: ASG Luftfahrttechnik und Sensorik GmbH, www.asg-weinheim.de; BASE TEN SYSTEMS GmbH, www.btse.de; BorJet, www.borjet.de; EME Elektrometall, www.eme-in.de; ESW GmbH, www.esw-wedel.de; Hoffmann Propeller GmbH & Co. KG, www.hoffmann-prop.com; Imar Navigation, www.imar-navigation.de; Limbach Flugmotoren GmbH & Co. KG, www.limflug.de; Roda Computer, www.roda-computer.com; Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, www.rolls-royce.com; Rotrob GmbH, www.rotrob.com; RUAG Deutschland GmbH, www.ruag.com; SIM Security & Electronic Systems, www.sim-electronic.com

³⁰¹ AirRobot kann sowohl militärisch als auch zivil genutzt werden. Vertrieb bisher vorwiegend zivil.

³⁰² Einschließlich Torpedos.

³⁰³ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³⁰⁴ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³⁰⁵ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.

³⁰⁶ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.

GmbH									UGV/ USV/ UUV
Diehl-BGT Defence GmbH & Co. KG	Überlingen	www.diehl-bgt-defence.de	Predator B; Micro-UAV Sensocopter	426 ³⁰⁷	mittel ³⁰⁸	100% ³⁰⁹	1650		UAV
EADS Deutschland GmbH Defence and Security Division	Ottobrunn	www.eads.net	CL 289; Barracuda; Eurohawk; Eagle I; Tracker; Scorpio; Seamos, Mücke, Sharc u.a.	5.900 ³¹⁰	gering ³¹¹	100% ³¹²	23.000		UAV
EMT Ingenieurgesellschaft Dipl.Ing. H. Euer GmbH	Penzberg	www.emt-penzberg.de	Aladin; Luna; FanCopter; x13; Mikado	>10	100%	100% ³¹³	140		UAV
ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH	Fürstenfeldbruck	www.esg.de	MMS Mission Management System für UAV; Elektronik und IT	180	mittel ³¹⁴	hoch ³¹⁵	1200		UAV
IABG mbH; Abteilung Defence und Security	Ottobrunn	www.iabg.de	Analysen; Simulation; Test; Technologieentwicklung	50 ³¹⁶	gering ³¹⁷	ca. 30%	350		UAV/ UGV/ USV/ UUV

³⁰⁷ Gesamtumsatz der Diehl-Gruppe 2,20 Mrd. €.

³⁰⁸ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³⁰⁹ Gesamt Diehl-Gruppe 35%.

³¹⁰ Innerhalb Defence and Security Division beschäftigen sich vor allem Military Aircraft (Umsatz 2,1 Mrd. €) und Defence Electronics (Umsatz 800 Mio. €) mit UAV.

³¹¹ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.

³¹² EADS gesamt 23%.

³¹³ Firma will auch stärker zivil vermarkten.

³¹⁴ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³¹⁵ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³¹⁶ Umsatz IABG gesamt: 140 Mio. €.

³¹⁷ Eigene Schätzung.

Liebherr Aerospace Lindenberg GmbH	Lindenberg	www.liebherr.com/ae/	Steuerungssysteme; Zulieferer für Barracuda	400 ³¹⁸	gering ³¹⁹	mittel ³²⁰	1500	UAV
Mavionics GmbH	Braun- schweig	www.mavionics.de	UAV Carolo T200/P330; Minc Autopilotssystem; Mavcs Mission Control Software; TirMu Mess- und Steuerungssystem ³²¹	< 10	100%	0%	20	UAV
microdrones GmbH	Kreuztal	www.microdrones.com	Micro-UAV MD4-200	gering ³²²	100%	gering ³²³	19	UAV/ (UGV)
MTU Aero Engines	München	www.mtu.de	Antriebe und deren Steue- rung	2.416	gering ³²⁴	23%	7.500	UAV
OHB Systems GmbH	Bremen	www.ohb-system.de	Satelliten; Sensor- und Datenübertragungssyste- me	>100	hoch ³²⁵	33% ³²⁶	330	UAV
Rheinmetall Defence Electronics GmbH	Düsseldorf	www.rheinmetall- detec.de	Drohne KZO; Kampf- drohne Taifun/Tares; Landroboter TeleMax	1.402	15% ³²⁷	100% ³²⁸	6.800	UAV/ (UGV)
Robowatch Technologies GmbH	Berlin	www.robowatch.de	UGV: Orfo+detect; Asendro; Chrysor; in	10	100%	gering ³²⁹	45	UGV

³¹⁸ Gesamtumsatz Liebherr: 6,50 Mrd. €.

³¹⁹ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²⁰ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²¹ Spin-off-Unternehmen der Uni Braunschweig; selbst nur zivile Vermarktung; jedoch wird Carolo 50 von Rheinmetall vertrieben.

³²² Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²³ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²⁴ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²⁵ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²⁶ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

³²⁷ Soll künftig auf 25% gesteigert werden.

³²⁸ Rheinmetall Gesamtkonzern 41%.

³²⁹ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

			Entwicklung mit micro-drones kombiniertes UAV-UGV					
Stemme GmbH & Co. KG ³³⁰	Strausberg	www.stemme.de	Motorsegelflugzeuge	<5	<10%	80%	50	UAV
telerob Gesellschaft für Fernhantierungstechnik mbH	Ostfildern	www.telerob.de	UGV Telemax (siehe Rheinmetall)	23	100%	hoch ³³¹	65	UAV

³³⁰ Hier aufgenommen, weil Firma in der Arbeitsgemeinschaft UAV DACH aktiv ist.

³³¹ Eigene Schätzung auf Grund von Presseartikeln, Firmenwebseiten u.a.; Firma hat keine Auskunft gegeben.

4 UMS im Kontext von Friedenssicherungsrecht, Rüstungs- und Exportkontrolle sowie humanitärem Völkerrecht (Modul 4)

Die moderne Rüstungskontrolle und Abrüstung haben ihren Ursprung in der Rüstungskonkurrenz des Kalten Krieges. Ursprünglich zur Kriegsverhütung, zur Schadenbegrenzung und Krisenstabilität im Atomzeitalter konzipiert, haben sich die Regime, Instrumente und Funktionen von Rüstungskontrolle und Abrüstung in den letzten Jahrzehnten je nach Vertragsgegenstand, Abdeckung und Reichweite gewandelt und ausdifferenziert. So hat der Rüstungskontrolldiskurs der letzten Jahrzehnte nicht nur zu einer Verrechtlichung von Verhaltensnormen geführt, sondern auch zur Einführung von Verfahren und zur Gründung von Organisationen, die für die Einhaltung der multilateralen Vereinbarungen verantwortlich sind (z.B. Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO), Organisation für das Verbot chemischer Waffen (OVCA) oder die Comprehensive Test Ban Treaty Organisation (CTBTO). Man kann daher auch von der Etablierung einer Rüstungskontrollkultur basierend auf internationalem Rüstungskontrollrecht sprechen.³³² Freilich ist diese in Abhängigkeit von den konkreten politischen, kulturellen und gesellschaftlichen Bedingungen regional unterschiedlich ausgeprägt.

Abrüstung und Rüstungskontrolle sind dabei nicht synonym. Während Abrüstung auf die „greifbare Beseitigung oder Verminderung von Rüstungen in realen Mengen, ausgeführt auf der Grundlage internationaler Vereinbarungen“ abzielt,³³³ geht es bei Rüstungskontrolle im Atomzeitalter darum, „Sicherungen gegen das Risiko des Gewaltausbruchs zu installieren.“³³⁴ Beides sind Strategievarianten, die zur Sicherheit der betroffenen Staaten beitragen sollen. Ein wichtiger Effekt von Rüstungskontrolle liegt in der Einschränkung eigener militärischer Optionen und damit verbundener Reziprozität der Verpflichtungen der Vertragspartner. Die nachprüfbar Beschränkung militärischer Optionen und konkreter Waffensysteme ggf. einschließlich ihres vollständigen Verbots steht dabei im Mittelpunkt von Rüstungskontrollverträgen. Weitere wichtige Funktionen neben der Kriegsverhütung sind die Erhöhung der Vorhersag

³³² den Dekker, 2001; Marauhn, 2007.

³³³ Siehe Neuneck/Mutz, 2000, S. 98.

³³⁴ Ebenda, S. 100.

barkeit bezüglich des Verhaltens eines Kontrahenten, eine effizientere Nichtverbreitung neuer Waffensysteme und die Einhegung neuer unübersehbarer Rüstungsentwicklungen.³³⁵

Das Abrüstungsjahrzehnt der 1990er Jahre legte die Grundlage für die heutige Rüstungskontrollarchitektur, die trotz erheblicher Rückschläge ein umfassendes System von Verhaltensanforderungen, Durchsetzungsmechanismen und institutionellen Sicherungen darstellt. Das Kapitel stellt zunächst die Entwicklung und die zentralen Funktionen der Rüstungskontrolle (Abschnitt 4.1.1) seit Ende des Kalten Krieges sowie die heutige Krise der Rüstungskontrolle (Abschnitt 4.1.2) dar. Die folgenden Abschnitte diskutieren die Anwendbarkeit existierender Rüstungskontrollverträge (4.1.3) und multilateraler Vereinbarungen zur Exportkontrolle (4.1.4) auf die neue Kategorie der UMS. Das humanitäre Völkerrecht wird im Unterkapitel 4.2 behandelt. Unterkapitel 4.3 untersucht die sicherheits- und rüstungskontrollpolitischen Folgen einer umfassenden Einführung von UMS unter besonderer Berücksichtigung präventiver Rüstungskontrolle. Die zusammenfassende Bewertung wird in Unterkapitel 4.4 gegeben.

4.1 Auf UMS anwendbare Normen des Friedenssicherungsrechts und sonstige multilaterale Vereinbarungen

4.1.1 Rüstungskontrolle nach Ende des Kalten Krieges

Der Abschluss von Rüstungskontrollverträgen zwischen den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion unter Beteiligung der jeweiligen Militärallianzen ermöglichte die Teilreduzierung, Entzerrung, Entwertung der Hochrüstung und der auf einen Nuklearkrieg ausgerichteten Militärplanungen der nuklearen Supermächte sowie die Anpassung der Rüstungsarsenale an die neuen, sich entwickelnden sicherheitspolitischen Bedingungen des 21. Jahrhunderts. In dem Jahrzehnt nach Ende des Ost-West-Konfliktes wurden nicht nur die strategische nukleare Überrüstung durch die START-Verträge (1991, 1993) zwischen den USA und Russland verringert, sondern auch die nuklearen Mittelstreckensysteme zwischen 500 und 5.500 km Reichweite (INF-Vertrag 1987) in und um Europa vollständig abgerüstet. Der KSE-Vertrag (1990) kodifizierte die Abrüstung konventioneller Hauptwaffensysteme und die Anpassung der Obergrenzen nach Auflösung der Blockstrukturen im Bereich vom „Atlantik bis zum Ural“. Dies beinhaltet auch ein Verifikationsregime mit umfassendem Datenaustausch und Vor-Ort-Inspektionen aller Teilnehmerstaaten. Verknüpft mit diesem Regime sind auch die Wiener Dokumente und der „Vertrag über den offenen Himmel“ (1992), die eine erhebliche

³³⁵ Weitere wichtige Kriterien waren die Kosten und die Schadensminimierung, siehe dazu die Klassiker: Bull, 1961; Schelling/Halperin, 1961.

vertrauensbildende Funktion zwischen den ehemaligen Antagonisten in Ost und West hatten, sowie der Angepasste KSE-Vertrag (1999), der vom Westen jedoch bisher nicht ratifiziert wurde. Das „Chemiewaffen-Übereinkommen“ (CWÜ) von 1993 schließlich verbietet die Entwicklung, Herstellung, den Besitz, die Weitergabe und den Einsatz chemischer Waffen und regelt die Deklaration und Zerstörung vorhandener Bestände. Tabelle 4-1 gibt Aufschluss über Chronologie und Inhalt dieser erfolgreichen Abrüstungsdekade. Die Nicht-Ratifizierung des „Vollständigen Teststoppvertrages“ von 1996 (CTBT) aufgrund der Ablehnung des Vertrages im US-Senat 1998 unterstreicht bereits die veränderte Priorisierung im damals von den Republikanern dominierten US-Kongress.

Tabelle 4-1 Die wichtigsten Rüstungskontrollverträge seit 1987³³⁶

Unterzeichnet (in Kraft)	Name	Parteien	Inhalt
08.12.1987 (01.06.1988)	INF-Vertrag	USA/UdSSR	Verbot der Herstellung und Lagerung von Mittelstreckensystemen (erfüllt)
19.11.1990 (9.11.1992)	KSE-Vertrag	NATO/WVO	Eliminierung quantitativer Asymmetrien bei fünf Hauptwaffensystemen in vier Zonen vom Atlantik bis zum Ural
31.07.1991 (5.12.1994)	START-I	USA/UdSSR	Reduzierung der strat. Nuklearwaffen innerhalb von 7 Jahren um ca. ein Drittel gegenüber 1991 auf gemeinsame Obergrenzen von 1.600 Trägersystemen und 6.000 Gefechtsköpfen (gültig bis Dezember 2009).
24.03.1992 (01.01.2002)	Vertrag über den offenen Himmel (Open Skies)	26 Staaten (NATO/ehemalige WVO-Staaten)	Öffnung des Territoriums für unbewaffnete Überwachungsflüge
03.01.1993	START II	USA/Russland	Weitere Reduktionen der strategischen Nuklearwaffen auf 3.000 bis 3.500 Sprengköpfe pro Seite und Verbot von Mehrfachsprengköpfen. Entfällt nach Inkrafttreten des SORT-Vertrags von 2002
13.01.1993 (24.04.1997)	Chemiewaffen-Übereinkommen	174 Unterzeichner- und 167 Ratifikationsstaaten	Verbot von Entwicklung, Herstellung, Besitz, Weitergabe und Einsatz chemischer Waffen sowie Deklaration und Zerstörung vorhandener Bestände
14.06.1996	Übereinkommen von Florenz im Rahmen des Dayton-Vertrages (1995)	Serbien/Montenegro; Bosnien-Herzegowina; Kroatien	Obergrenzen für 5 Hauptwaffensysteme und nachprüfbarer Abbau von überzähligen Waffen
10.11.1996	Umfassender Teststoppvertrag	174 Unterzeichner- und 120 Ratifikationsstaaten, nicht jedoch USA, Indien, Pakistan, Nordkorea, Iran, China etc.	Verbot jeglicher Art von Nuklearwaffentests und anderer Formen von Nuklearexplosionen. Der Vertrag soll der Entwicklung neuer Arten von Kernwaffen ein Ende setzen und die vertikale Weiterverbreitung von Kernwaffen beschränken (noch nicht in Kraft).
3.12.1997 (1.3.1999)	Landminen-Konvention	152 Unterzeichner- und 144 Ratifikationsstaaten, nicht jedoch USA, Russland, China, Indien, Pakistan	Verbot des Einsatzes, der Lagerung, der Herstellung und des Transfers von Anti-Personenminen
16.11.1999 (1.1.2000)	Wiener Dokument 1999	OSZE-Staaten	Regionale Maßnahmen zur Transparenz und Vertrauensbildung im OSZE-Kontext, aufbauend auf den Wiener Dokumenten 1990, 1992 und 1994
24.5.2002	Strategic Offensive Reduction Treaty	USA/Russland	Reduktion der strategischen Nuklearwaffen auf ca. 1.700 bis 2.200 Sprengköpfe bis 2012 (gültig bis 2012)

Nach Phasen höchster Konfrontation zwischen Ost und West im Kalten Krieg stand in den 1990er Jahren das Konzept der „kooperativen Sicherheit“ im Mittelpunkt.³³⁷ Harald Müller beschrieb 1996 Rüstungskontrolle als „Versuch, Sicherheit nicht länger durch unilaterale

³³⁶ Neuneck/Mölling, 2005.

³³⁷ Bahr/Lutz, 1986.

Verteidigungs- und Rüstungspolitik, sondern durch das kooperative Einwirken auf das wechselseitige Rüstungsverhalten zu erreichen. Dabei wandeln sich – je nach dem Stadium der Konfliktbeziehung zwischen den Gegnern / Partnern – die spezifischen Funktionen, Instrumente und Erscheinungsformen der Rüstungskontrolle.“³³⁸

4.1.2 Die Krise der Rüstungskontrolle ab 2001

Spätestens mit dem markanten Datum des 11. September 2001 und den damit verbundenen Folgen haben sich die sicherheitspolitische Agenda und damit auch die internationale Rüstungskontrolle deutlich verändert. Insbesondere die neue Bush-Administration rückte fast vollständig von der Weiterentwicklung der Rüstungskontrolle ab. Maßgebliche Protagonisten der US-Administration unter George W. Bush hatten die Ablehnung internationaler Verträge und eine Stärkung unilateralen Handelns bereits vor der Amtseinführung des US-Präsidenten propagiert und entsprechende Politiken konzeptionell ausgearbeitet. Die Kündigung des bilateralen ABM-Vertrages 2002,³³⁹ der die Möglichkeiten der Abwehr von strategischen ballistischen Raketen technologisch und geografisch begrenzt, und der nur noch aus wenigen Seiten bestehende Moskauer SORT-Vertrag³⁴⁰ zwischen den nuklearen Supermächten 2002 leiteten die Erosion der Rüstungskontrollarchitektur ein, in deren Folge Russland das START-II Abkommen (Strategic Arms Reduction Talks, START) zunächst im April 2000 ratifizierte, aber die Implementierung von der Einhaltung des ABM-Vertrages durch die USA abhängig machte. Der internationale Terrorismus, die Weiterverbreitung von Massenvernichtungswaffen und die Bedrohung durch sogenannte „Schurkenstaaten“ standen nunmehr im Zentrum sicherheitspolitischer Konzepte des Westens. Je nach Ausrichtung waren die Antworten auf diese Herausforderungen unterschiedlich. Während die Vereinigten Staaten den Schwerpunkt auf unilaterale militärische Mittel wie Raketenabwehr, verkleinerte, schlagkräftige Streitkräfte und damit auf eine Steigerung der Rüstungsanstrengungen³⁴¹ legten, betont die „Europäische Sicherheitsstrategie“ (2003) die UN-Charta, die Ausfuhrkontrolle und die Rüstungskontrolle.³⁴² Die Bush-Doktrin hingegen sieht präventive Militäroperationen vor, um Staaten zum Abrüsten zu zwingen, die auf dem Weg sind, Massenvernichtungswaffen zu erlangen. Der Irak-Krieg 2003, der mit der angeblichen Bedrohung durch den Irak begründet wurde, hat

³³⁸ Müller u.a., 1996.

³³⁹ Zu den politischen und rechtlichen Hintergründen vgl. Müllerson, 2001.

³⁴⁰ Strategic Offensive Reductions Treaty.

³⁴¹ In der National Security Strategy von 2006 heißt es: “We are fighting a new enemy with global reach. The United States can no longer simply rely on deterrence to keep the terrorists at bay or defensive measures to thwart them at the last moment. The fight must be taken to the enemy, to keep them on the run.” (White House, 2006).

³⁴² European Security Strategy, 2003.

dazu geführt, dass die Anwendung von Zwangsmaßnahmen zur Kontrolle und Eindämmung fremder Rüstungen Aufwind bekommen hat. Dies hatte und hat erhebliche Auswirkungen auf die Rüstungskontrolle.³⁴³

Im Mai 2003 kündigte Präsident Bush eine „Proliferation Security Initiative“ (PSI) an, der sich inzwischen 10 weitere Staaten angeschlossen haben.³⁴⁴ Diese arbeiten auf dem Gebiet der Proliferationsverhinderung von Massenvernichtungswaffen (MVW), Trägersystemen und der dafür relevanten Materialien und Technologien zusammen.³⁴⁵ Neben völkerrechtlichen Bedenken gegenüber PSI³⁴⁶ sind auch Zweifel daran angebracht, ob diese Maßnahmen effizient sind. Nicht die Ächtung und Abrüstung von MVW stehen hier im Vordergrund, sondern die einseitige und selektive Proliferationskontrolle. Weitere Beispiele ließen sich anfügen. Die Überprüfungskonferenz des Nichtverbreitungsvertrages 2005 scheiterte an der unüberbrückbaren Differenz zwischen den Ländern der Dritten Welt und den Nuklearwaffenstaaten. Die blockfreien und ungebundenen Staaten forderten die Einhaltung der Abrüstungsverpflichtungen der Nuklearwaffenstaaten nach Artikel 6 des Nichtverbreitungsvertrages,³⁴⁷ während die Nuklearwaffenstaaten lediglich einseitig auf Maßnahmen zur Non-Proliferation setzten, ohne ihre Abrüstungsverpflichtungen weiter zu verfolgen. Offensichtlich konkurriert die Rüstungskontrolle verstärkt mit anderen Ansätzen, die auf einseitigen militärischen Zwangsmitteln fußen. Es verstärkt sich damit der Trend, dass bestimmte Staaten über bestimmte MVW verfügen dürfen, andere jedoch nicht. Diese fortbestehende Asymmetrie muss in Bezug auf die Weiterentwicklung der Rüstungskontrollkultur Anlass zur Sorge geben. Eine aufflammende Nuklearisierung insbesondere in Regionen wie Asien oder dem Mittleren Osten erscheint wahrscheinlich. Dies hätte auch Konsequenzen auf die Weiter- und Neuentwicklung von Trägersystemen, die MVW transportieren können.

Im Dezember 2007 erfasste die Krise der internationalen Rüstungskontrolle auch Europa. Als unmittelbare Reaktion auf die US-Raketenabwehrpläne in der Tschechischen Republik und in Polen suspendierte die Moskauer Regierung die Anwendung des Vertrags über Konventionelle Streitkräfte in Europa (KSE).³⁴⁸ Dies bedeutet zunächst, dass der regelmäßige Informati

³⁴³ In der völkerrechtswissenschaftlichen Literatur wird vor diesem Hintergrund darüber diskutiert, ob sich auch die rechtliche Steuerung der Rüstungskontrolle in einer Krise befindet. Kommentatoren warnen allerdings davor, voreilig von einem Paradigmenwechsel zu sprechen. Vgl. dazu statt aller Freeman, 2004.

³⁴⁴ Neben den USA sind dies zehn Schlüsselstaaten: Großbritannien, Australien, Frankreich, Deutschland, Italien, Japan, die Niederlande, Polen, Portugal und Spanien. Hinzu kommen über 80 Unterstützerländer.

³⁴⁵ In Paris wurden am 4. September 2003 „Interdiction Principles“ beschlossen, um den „Transfer und Transport“ von MVW zu unterbinden. Diese bilden den Kern der PSI.

³⁴⁶ S. dazu Schaller, 2004.

³⁴⁷ Vertrag über die Nichtverbreitung von Kernwaffen, BGBl.II 1974, S. 785.

³⁴⁸ Nach Auffassung von Außenminister S. Lawrow führt die Ausweitung des US-Raketenabwehrprogramms auf Europa zu einer „Änderung der strategischen Balance“ zum Nachteil Russlands.

onsaustausch und die gegenseitigen Vor-Ort-Inspektionen nicht mehr stattfinden. Hieraus könnten aber auch weitere Schritte wie Truppenverlagerungen oder die Aufrüstung bei konventionellem Großgerät resultieren. Von russischer Seite wurde auch die Möglichkeit in Aussicht gestellt, weitere Rüstungskontrollabkommen wie z.B. den bilateralen INF-Vertrag oder den „Vertrag über den offenen Himmel“ zu kündigen. Es besteht die begründete Befürchtung, dass in wenigen Jahren auch die europäische Rüstungskontrollarchitektur ihre Bindungskraft und Wirkung verloren haben wird.

4.1.3 Rüstungskontrollverträge, die auf UMS angewendet werden können

UMS bzw. UAV als neue Waffenkategorie existierten noch nicht, als die für Trägersysteme relevanten Rüstungskontrollverträge abgeschlossen wurden. Dementsprechend gilt es zu prüfen, ob es in diesen Verträgen Regelungen gibt, die eine Einbeziehung von UMS erlauben.³⁴⁹

Die hierfür relevanten Verträge, die Verbotstatbestände enthalten, unter die sich UMS gegebenenfalls subsumieren lassen, sind:

1. das multilaterale Chemiewaffen-Übereinkommen von 1993, das Entwicklung, Herstellung, Besitz, Weitergabe und Einsatz chemischer Waffen sowie Deklaration und Zerstörung vorhandener Bestände regelt;
2. das Biologische-Waffen-Übereinkommen von 1972, das Entwicklung, Herstellung und Lagerung biologischer Waffen verbietet;
3. der Weltraumvertrag von 1967, der Massenvernichtungswaffen im Weltraum verbietet;
4. die bilateralen START-Verträge von 1991 und 1993, die die Zahl der Bomber, ballistischen Raketen und strategischen Marschflugkörper begrenzen, sowie die SALT-Verträge;
5. der (in den Kernverpflichtungen) bilaterale und nunmehr vollständig umgesetzte INF-Vertrag von 1987, der Mittelstreckenraketen und landgestützte Marschflugkörper sowie deren Herstellung vollständig verbietet;
6. der Vertrag über Konventionelle Streitkräfte in Europa (KSE), der 1990 unterzeichnet wurde: Er umfasst heute 22 Teilnehmerstaaten und ersetzte 1999 im Rahmen des nicht von der NATO ratifizierten angepassten KSE-Vertrages (AKSE) die Obergrenzen des Kalten Krieges durch nationale und territoriale Obergrenzen. Der KSE-Vertrag wurde 2007 von Russland suspendiert.

Außerdem enthalten das Wiener Dokument über vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen und andere im Rahmen der OSZE sowie der UNO geltende Beschlüsse Regeln, die für UMS relevant sind.

³⁴⁹ Siehe dazu auch Gormley/Speier, 2003.

Das Chemiewaffen-Übereinkommen

Das multilaterale Chemiewaffen-Übereinkommen (CWÜ) verbietet die Entwicklung, die Herstellung, den Besitz, die Weitergabe und den Einsatz chemischer Waffen. Zudem regelt es die Deklaration, Verifikation und Zerstörung vorhandener Bestände.³⁵⁰ Die Zeichnungsfrist begann am 13. Januar 1993, und der Vertrag trat am 29. April 1997 in Kraft. Im März 2008 hatten 183 Staaten das CWÜ ratifiziert. Der Vertrag gilt unbefristet. Eine Umsetzungs- und Überprüfungsorganisation, die „Organisation für das Verbot chemischer Waffen“ (OVCW), wurde in Den Haag etabliert. Artikel II regelt, was unter einer „chemischen Waffe“ zu verstehen ist. Hierzu gehören nicht nur „toxische Chemikalien und ihre Vorprodukte“ (Ziffer 1a), sondern auch (Ziffer 1b und c):

„b) Munition oder Geräte, die eigens dazu entworfen sind, durch die toxischen Eigenschaften der unter Buchstabe a bezeichneten toxischen Chemikalien, welche infolge der Verwendung solcher Munition oder Geräte freigesetzt würden, den Tod oder sonstige Körperschäden herbeizuführen; c) jede Ausrüstung, die eigens dazu entworfen ist, im unmittelbaren Zusammenhang mit Munition oder Geräten verwendet zu werden, wie sie unter Buchstabe b bezeichnet sind.“

Das Verbot chemischer Waffen umfasst danach also auch alle Arten von bemannten und unbemannten Fahrzeugen einschließlich Marschflugkörper, UAVs, RPVs etc., die über Sprüheinrichtungen und Tanks verfügen, um toxische Chemikalien zu verteilen. Entscheidend ist hier also die beabsichtigte Verwendung der Waffen.³⁵¹ Man spricht von der „allgemeinen Zweckbestimmung“ („General Purpose Criterion“). Diese Regelung ist allerdings sehr einsatzorientiert, denn die modulare Bauweise von UMS ermöglicht den Einbau von Sprühanlagen kurz vor dem Einsatz des Waffensystems.

Das Biologische-Waffen- und Toxinwaffen-Übereinkommen

Das „Übereinkommen über das Verbot der Entwicklung, Herstellung und Lagerung bakteriologischer (biologischer) Waffen und Toxinwaffen sowie über die Vernichtung solcher Waf

³⁵⁰ Übereinkommen über das Verbot der Entwicklung, Herstellung, Lagerung und des Einsatzes chemischer Waffen und über die Vernichtung solcher Waffen, BGBl. 1994 II S. 807, Ausführungsgesetz zum Chemiewaffenübereinkommen vom 2. August 1994 (BGBl. I S. 1954), zuletzt geändert durch Artikel 18 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407). Siehe im Detail: <http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Aussenpolitik/Themen/Abruestung/Downloads/CWUE-Ausfuehrungsgesetz.pdf> (5. 4. 2008). Nähere Informationen zum CWÜ inkl. Vertragstext finden sich unter: <http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Aussenpolitik/Themen/Abruestung/BioChemie/Verbot-C-Waffen.html> (5. 4. 2008).

³⁵¹ Vgl. dazu Krutzsch/Trapp, 1994, S. 26f.

fen“ vom 10. April 1972,³⁵² das am 26. März 1975 in Kraft trat, soll die Herstellung und Verbreitung von biologischen Waffen verhindern und ist, wie auch das C-Waffen-Übereinkommen, nicht nur ein Abrüstungs- und Rüstungskontrollvertrag, sondern auch eine Weiterentwicklung und Stärkung des Genfer Protokolls von 1925,³⁵³ das den Einsatz von chemischen und bakteriologischen Kampfmitteln vertraglich verboten hat.³⁵⁴ Im Juni 2005 hatten 155 Staaten das B-Waffen-Übereinkommen ratifiziert.³⁵⁵ Nicht darunter sind insbesondere Staaten aus dem Mittleren Osten und Afrika.³⁵⁶

Jeder Vertragsstaat verpflichtet sich im Artikel I:

„(1) mikrobiologische oder andere biologische Agenzien oder – ungeachtet ihres Ursprungs oder ihrer Herstellungsmethode – Toxine, von Arten und in Mengen, die nicht durch Vorbeugungs-, Schutz- oder sonstige friedliche Zwecke gerechtfertigt sind, sowie (2) Waffen, Ausrüstungen oder Einsatzmittel, die für die Verwendung solcher Agenzien oder Toxine für feindselige Zwecke oder in einem bewaffneten Konflikt bestimmt sind, niemals und unter keinen Umständen zu entwickeln, herzustellen, zu lagern oder in anderer Weise zu erwerben oder zu behalten.“

Hierzu zählen also auch bemannte oder unbemannte Systeme, die für den Einsatz oben genannter Agenzien „für feindliche Zwecke oder im bewaffneten Konflikt bestimmt sind“, d.h. auch hier gilt die „allgemeine Zweckbestimmung“. Das Verbot erfasst nicht UMS im Allgemeinen, sondern nur solche UMS, die dazu bestimmt sind, biologische oder Toxinwaffen zum Einsatz zu bringen. Bis heute gibt es keinen verpflichtenden Überwachungsmechanismus, folglich auch keine Überprüfungsorganisation so wie im Falle des C-Waffen-Übereinkommens.³⁵⁷

Der Weltraumvertrag von 1967

Der Vertrag vom 27. Januar 1967 über „die Grundsätze zur Regelung der Tätigkeiten von Staaten bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums einschließlich des Mondes und

³⁵² BGBl. 1983 II S. 133.

³⁵³ RGBl. 1929 II, S. 174.

³⁵⁴ Zum Genfer Protokoll vgl. Bothe, 1973, S. 21ff.; zum Verhältnis des Protokolls zur B-Waffen-Konvention und zur C-Waffen-Konvention vgl. Stefan Oeter in: Fleck, 2008, Rn. 438, 440.

³⁵⁵ BWC/MSP/2005/MX/INF.5, 21. Juni 2005.

³⁵⁶ Zu den Staaten, die nicht gezeichnet haben, gehören u.a. Angola, Kamerun, Tschad, Eritrea, Israel, Mosambik und Sambia; gezeichnet, aber nicht ratifiziert, haben u.a. die Zentralafrikanische Republik, Ägypten, Liberia, Somalia, Syrien, die Vereinigten Arabischen Emirate und Tansania (vgl. dazu die Angaben auf der Website der Konvention, <http://www.opbw.org/> (5. 4. 2008)).

³⁵⁷ Zur Diskussion über einen Überwachungsmechanismus vgl. Pearson, 2002.

anderer Himmelskörper“, kurz Weltraumvertrag (WRV),³⁵⁸ verbietet die Stationierung von Massenvernichtungswaffen im Weltraum. Ballistische Lenkwaffen oder andere Flugkörper, die auf ihrer Flugbahn den Weltraum durchqueren, werden hingegen von diesem Vertrag nicht erfasst. Die Präambel sieht eine Entmilitarisierung des Weltraums vor, und Artikel IV verbietet die Stationierung von Nuklearwaffen und Massenvernichtungswaffen im Weltraum sowie auf anderen Himmelskörpern generell.³⁵⁹ Der Vertrag ist bezüglich der Begriffe „Weltraum“ (*outer space*)³⁶⁰ und „friedliche Nutzung“ (*peaceful purposes*)³⁶¹ relativ unpräzise. Artikel IV Absatz 2 bestimmt, dass der Mond und die anderen Himmelskörper ausschließlich „zu friedlichen Zwecken“ genutzt werden sollen.³⁶² Die USA und europäische Staaten legen den Begriff „friedlich“ im Sinne von „nicht-aggressiv“ aus. Aufgrund des Wortlauts und der systematischen Stellung von Artikel IV Absatz 2 kann man argumentieren, dass die ausdrückliche Verpflichtung auf friedliche Zwecke nur auf den Mond und die anderen Himmelskörper bezogen sind, d.h. nur dort sind aggressive militärische Aktivitäten verboten.³⁶³ Die in der Entwicklung befindlichen, konventionellen Raketenabwehrtechnologien, die im Weltraum getestet und eingesetzt werden, sind demnach nicht durch den WRV verboten. Manövrierbare Kleinsatelliten, Marschflugkörper, die den Weltraum oder die oberen Schichten der Atmosphäre durchqueren können oder andere unbemannte Systeme, die keine MVW enthalten, sind folglich erlaubt. Solche unbemannten Systeme könnten zukünftig als Anti-Satellitenwaffe genutzt werden. Bisher konzentrieren sich einige Raumfahrt betreibende Staaten allerdings auf den Abschuss von Satelliten mittels konventioneller Raketentechnologie.³⁶⁴ Einige Staaten entwickeln diverse Technologien, die als Weltraumwaffe eingesetzt werden können.³⁶⁵ Unbemannte Satelliten, die sich zu Abfangzwecken im Weltraum befinden, sind bisher nicht bekannt.

³⁵⁸ BGBl. 1969 II S. 1969. Siehe <http://www.unoosa.org/pdf/publications/STSPACE11E.pdf> (20. 7. 2008). Vgl. dazu jüngst Schladebach, 2008.

³⁵⁹ Im Artikel 4 heißt es im ersten Absatz: „Die Vertragsstaaten verpflichten sich, keine Gegenstände, die Kernwaffen oder andere Massenvernichtungswaffen tragen, in eine Erdumlaufbahn zu bringen und weder Himmelskörper mit derartigen Waffen zu bestücken noch solche Waffen im Weltraum zu stationieren.“

³⁶⁰ Wolter, 2003, S. 279ff.

³⁶¹ Ebenda S. 292ff.

³⁶² Weiter heißt es: „Die Errichtung militärischer Stützpunkte, Anlagen und Befestigungen, das Erproben von Waffen jeglicher Art und die Durchführung militärischer Übungen auf Himmelskörpern sind verboten.“

³⁶³ So Beer, 1987; weitergehend aber: von Kries, 1991, S. 307 (353).

³⁶⁴ Am 11. Januar 2008 zerstörte das Militär der Volksrepublik China mittels einer Mittelstreckenrakete den chinesischen Wettersatelliten FY-1C in einer Höhe von 850 km, und am 20. Februar 2008 zerstörte eine Abfangrakete SM-3, die über dem Nordpazifik durch die USS Lake Erie abgeschossen wurde, den zwei Tonnen schweren Spionage-Satelliten „USA 193“ in einer Höhe von 247 km.

³⁶⁵ Petermann u.a., 2003.

Die START-Verträge

Der START-I-Vertrag wurde am 31. Juli 1991 von den USA und der damaligen Sowjetunion unterzeichnet und beschränkt die strategischen Nukleararsenale beider Seiten auf 1.600 stationierte Trägersysteme (ICBM, SLBM und schwere Bomber) und ca. 6.000 „anrechenbare“ Sprengköpfe.³⁶⁶ Für die einzelnen Trägersysteme wurden Zählregeln für die maximale Zahl von Sprengköpfen pro Trägersystem vereinbart. Der Zerfall der Sowjetunion in die vier Nachfolgestaaten Russland, Weißrussland, Kasachstan und die Ukraine wurde im Rahmen des „Lissabonner Protokolls“ vom 23. Mai 1992³⁶⁷ aufgefangen. Alle vier post-sowjetischen Staaten sind Vertragsparteien, aber nur Russland verfügt heute noch über die durch den Vertrag zugelassenen Nukleararsenale. Mehrere Protokolle und Zusatzvereinbarungen errichten ein umfassendes Kontrollregime.³⁶⁸ Der START-I-Vertrag trat am 5. Dezember 1994 in Kraft. Die Laufzeit beträgt 15 Jahre, so dass das Abkommen im Dezember 2009 auslaufen wird. Separate politisch bindende Erklärungen beschränken zusätzlich seegestützte Marschflugkörper (SLCM) mit Reichweiten über 600 km auf eine Obergrenze von 880 SLCM pro Seite. Artikel V Absatz 19 Buchst. a verbietet u.a. Flugtests von „nuclear armaments [on] an aircraft that is not an airplane, but that has a range of 8000 km or more“.³⁶⁹ Was darunter zu verstehen ist, regelt das „Ninth Agreed Statement“ der Joint Compliance and Inspection Commission, die für die Umsetzung des START-Vertrages zuständig ist. Es versteht unter der Kategorie von „Nicht-Flugzeugen“: „lighter-than-air aircraft“ wie „Ballons, Luftschiffe oder lenkbare Luftschiffe“.

Der START-II-Vertrag vom 3. Januar 1993³⁷⁰ ermöglichte eine weitere Halbierung der strategischen Nuklearwaffen auf 3.000 bis 3.500 Sprengköpfe pro Seite und verbot die besonders destabilisierenden Mehrfachsprengköpfe. Nachdem man sich auf russischer Seite zehn Jahre um eine Ratifikation von START-II bemüht hatte, erklärte die russische Regierung am 14. Juni 2002, sich nicht länger an das Abkommen halten zu wollen. Ein wichtiger Grund war die Kündigung des ABM-Vertrages durch Präsident George W. Bush. Ersetzt wird das START-II-Abkommen durch den Moskauer SORT-Vertrag vom Mai 2002, der nur wenige Artikel umfasst und auf ein umfassendes Verifikationsregime verzichtet. Ziel ist die Reduktion der

³⁶⁶ Diese verteilen sich auf 4.900 Sprengköpfe auf ICBM/SLBM, 1.540 auf schweren Raketen (SS-18) und 1.100 Sprengköpfe auf mobilen ICBM. Siehe den vollständigen Vertrag unter: <http://www.state.gov/www/global/arms/starthtm/start/toc.html> (5. 4. 2008).

³⁶⁷ Text des Lissabonner Protokolls: <http://www.fas.org/nuke/control/start2/text/lisbon.htm> (20. 7. 2008).

³⁶⁸ Siehe <http://www.state.gov/www/global/arms/starthtm/start/defini.html#DEFINITIONS> (5. 4. 2008).

³⁶⁹ Siehe dazu <http://www.state.gov/www/global/arms/starthtm/start/start1.html#ARTICLE5> (5. 4. 2008).

³⁷⁰ <http://www.fas.org/nuke/control/start2/docs/start-95.htm> (20. 7. 2008).

strategischen Nuklearwaffen auf ca. 1.700 bis 2.200 Sprengköpfe bis zum Jahr 2012.³⁷¹ Nach diesem Datum kann jede Seite wieder aufrüsten. Spezielle Regelungen für neue Trägersysteme wie z.B. UAVs, die vom Leistungsvermögen nukleare Sprengköpfe tragen könnten, enthält der Moskauer Vertrag nicht.

Der INF-Vertrag von 1987

Mit dem INF-Vertrag³⁷² (Intermediate Range Nuclear Forces, INF) von 1987 zwischen den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion wurden erstmals zwei ganze Trägerkategorien vollständig eliminiert: ballistische Raketen (Ground Launched Ballistic Missiles, GLBM in Artikel II Ziff. 1)³⁷³ und landgestützte Marschflugkörper (Ground-launched Cruise Missiles, GLCM in Artikel II Ziff. 2)³⁷⁴ mit einer Reichweite zwischen 500 und 5.500 Kilometer, samt den dazugehörenden Startgeräten und der benötigten Operationsinfrastruktur. Luft- und see-gestützte Marschflugkörper (ALCM und SLCM) sind hingegen erlaubt. Auch sind die Produktion und Flugerprobung von INF-relevanten Trägersystemen verboten. Ein umfassendes Verifikationssystem einschließlich intensiver Vor-Ort-Inspektionen³⁷⁵ regelt die Zerstörung der Trägersysteme³⁷⁶ und die Überwachung der Produktionsstätten. Der Vertrag gilt seit dem 31. Mai 2001 als vollständig umgesetzt. Beide Nuklearmächte verfügen heute über keine Mittelstreckenraketen oder bodengestützte Marschflugkörper mehr, die eine Reichweite zwischen 500 km und 5.500 km haben.³⁷⁷ Mit dem Hinweis darauf, dass Staaten wie China, Indien, Pakistan, Nordkorea und Iran Mittelstreckenraketen in diesem Reichweitenbereich entwickeln, wird insbesondere in militärischen Kreisen in Russland immer wieder die Kündigung des INF-Vertrages gefordert. In einer gemeinsamen Erklärung vom 25. Oktober 2007 auf der Generalversammlung der Vereinten Nationen brachten die Vereinigten Staaten und Russland zum Ausdruck, sich weiter an die INF-Verpflichtungen zu halten, und riefen andere

³⁷¹ Der Vertragstext ist zu finden unter: <http://www.state.gov/t/ac/trt/18016.htm> (5. 4. 2008).

³⁷² Der Vertragstext findet sich unter: <http://www.state.gov/www/global/arms/treaties/inf1.html> (5. 4. 2008).

³⁷³ Eine ballistische Rakete definiert Artikel II. 1 wie folgt: „a missile that has a ballistic trajectory over most of its flight path“. Eine bodengestützte ballistische Rakete ist definiert als „a ground-launched ballistic missile that is a weapon-delivery vehicle“.

³⁷⁴ Einen Marschflugkörper definiert Artikel II. 2 wie folgt: „an unmanned, self-propelled vehicle that sustains flight through the use of aerodynamic lift over most of its flight path“.

³⁷⁵ Die Inspektionen bezogen sich sowohl auf die Vereinigten Staaten und Russland als auch auf Stationierungsorte in Belgien, Niederlande, Deutschland, Italien, Großbritannien und der damaligen Tschechoslowakei.

³⁷⁶ Die USA und Russland zerstörten in der Folge des INF-Vertrages 2.692 Kurz-, Mittelstreckenraketen und Marschflugkörper.

³⁷⁷ Allerdings verfügt Russland über die Kurzstreckenrakete Iskander-M, die die INF-Reichweitenbegrenzung von 500 km überschreiten könnte. Technologisch ist der Unterschied zwischen einem vom Boden oder durch ein Flugzeug verschossenen Marschflugkörper nicht sehr relevant. Sowohl Russland (AS-15, KH-55) wie auch die USA verfügen über luftgestützte strategische Marschflugkörper (Reichweite über 1.000 km), deren Reichweite durch die mobile Trägerplattform noch vergrößert werden kann.

Staaten auf, dies auch zu tun.³⁷⁸ Eine Globalisierung des INF-Vertrages wurde immer wieder international vorgeschlagen, steht aber noch aus.

UAVs werden im INF-Vertrag nicht explizit erwähnt, Sie würden aber vermutlich unter die Kategorie „bodengestarteter Marschflugkörper“ fallen, wenn sie als Waffenträger (z.B. als UCAV) vorgesehen sind. Allerdings kann man argumentieren, dass ein UCAV kein Marschflugkörper ist, da es nach dem Start und ausgeführter Mission wie ein Flugzeug wieder landen kann. Auch ist zumeist kein Startgerät vonnöten.³⁷⁹ Die in dem INF-Vertrag definierten Charakteristika beziehen sich eindeutig auf Marschflugkörper, die einmalig verschossen werden, während UCAVs für mehrfachen Einsatz vorgesehen sind. Es wäre von der in dem INF-Vertrag in Artikel XI vorgesehenen „Special Verification Commission“ gegebenenfalls zu erörtern, ob und inwieweit neue Trägersysteme im INF-Reichweitenbereich einzubeziehen sind. Nach US-amerikanischem Verständnis fallen UCAVs nicht unter die Bestimmungen des INF-Vertrages. Im Abschnitt 7.3. der Unmanned Systems Roadmap 2007-2032 ist zu lesen: “Unmanned systems that are not ground launched, or take off without the aid of launching equipment, and are designed to return from mission, do not fall within the definition of a ground-launched cruise missile“.³⁸⁰

Vertrag über Konventionelle Streitkräfte in Europa (KSE)

Im Wesentlichen beinhaltet der KSE-Vertrag³⁸¹ für einen geografisch definierten Bereich „vom Atlantik bis zum Ural“ (ATTU) die Festlegung gleicher Obergrenzen an konventionellen Waffen in fünf Kategorien von Hauptwaffensystemen³⁸² nach dem Paritätsprinzip und die Etablierung entsprechender Informations- und Verifikationsmechanismen für die beiden damaligen Militärallianzen. Er wurde am 19. November 1990 unterzeichnet, trat 1991 in Kraft und trug entscheidend zum Abbau der quantitativen Überlegenheit des damals noch existierenden Warschauer Paktes bei. Im November 1999 wurde der angepasste KSE-Vertrag (AKSE) in Istanbul beschlossen, der das KSE-Blockkonzept durch ein territoriales Zonenkonzept ersetzen sollte. Er wurde von den NATO-Mitgliedsstaaten jedoch bis heute nicht ratifiziert, da nach ihrer Auffassung Russland nicht alle Vertragsverpflichtungen erfüllt hat. Der

³⁷⁸ Joint U.S.-Russian Statement on the Treaty on the Elimination of Intermediate-Range and Shorter-Range Missiles at the 62nd Session of the UN General Assembly; vgl. dazu die Presseerklärung des U.S. Department of State, <http://www.state.gov/r/pa/prs/ps/2007/oct/94141.htm> (20. 7. 2008).

³⁷⁹ Einen „launcher“ definiert der INF-Vertrag im Artikel II. 4 als “fixed launcher or a mobile land-based transporter-erector-launcher mechanism for launching a GLCM”.

³⁸⁰ Department of Defense, 2007, S. 64.

³⁸¹ Vertrag über Konventionelle Streitkräfte in Europa vom 19. November 1990 (BGBl. 1991 II S. 1155). Zum Vertrag vgl. Hartmann/Heydrich/Meyer-Landrut, 1994; s. auch Lang, 2001.

³⁸² Dies sind: Kampfpanzer (main battle tanks), gepanzerte Kampffahrzeuge (armored combat vehicles), schwere Artilleriewaffen (heavy artillery), Kampfflugzeuge (combat aircraft) und Angriffshubschrauber (attack helicopters).

Vertrag wurde am 12. Dezember 2007 von Russland suspendiert, als Gründe wurden die AKSE-Nicht-Ratifizierung und die US-Raketenabwehrpläne in Europa angegeben. UAS bzw. UMS werden in dem Vertragstext nicht explizit erwähnt. Der KSE-Vertrag kennt aber Höchstgrenzen für „combat aircraft“, deren Definition bewusst nicht festlegt, ob das Kampfflugzeug unbemannt oder bemannt sein muss und somit UAVs einschließt. Neu stationierte UCAVs würden also unter die Vertragsregelungen fallen. Ähnliches lässt sich über die Definition von „Kampf“- bzw. „Angriffshubschraubern“ sagen.³⁸³ Die Definitionen von Panzern oder gepanzerten Fahrzeugen im Vertragstext sind dagegen äußerst spezifisch und gelten genau so auch für UMS. Artikel XVI etabliert eine „Gemeinsame Beratungsgruppe“, die u.a. Fragen behandeln soll, die die Einhaltung und mögliche Umgehung des Vertrages anbelangen. Der KSE-Vertrag enthält ein Protokoll über vorhandene Typen konventioneller Waffen und Ausrüstungen, das Listen von Waffen und Ausrüstungen enthält, die verboten bzw. erlaubt sind. Hier müssen also neue Waffensysteme, die den Kern des Vertrages berühren, aufgenommen werden.

Wiener Dokument (Verhandlungen über vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen)

Aufbauend auf den Wiener Dokumenten 1990, 1992 und 1994 regelt das Wiener Dokument von 1999 regionale Maßnahmen zur Transparenz und Vertrauensbildung im OSZE-Kontext.³⁸⁴ Das Dokument ist lediglich politisch, nicht aber völkerrechtlich verbindlich. Es regelt den jährlichen Austausch von Daten zum militärischen Inventar und Militärbudget und beinhaltet risikovermindernde Vorgehensweisen, ein Kommunikationsnetzwerk und eine jährliche Bewertung von vertrauens- und sicherheitsbildenden Maßnahmen (VSBM). Spezifische Informationen zu militärischen Aktivitäten, der Verteidigungsplanung und zu militärischen Kontakten sind den anderen Teilnehmerstaaten zur Verfügung zu stellen. So regelt Ziffer 1 den jährlichen Austausch von militärischen Informationen. Ziffer 10 beschreibt die Spezifikationen der zu meldenden Waffensysteme, Truppeninformationen und Ausrüstungsgegenstände. UMS als Waffenplattformen fallen somit unter die Ziffer 10.2.5 oder 10.5. Auch die Daten bei Indienstellung von „neuen Typen und Versionen von Hauptwaffensystemen und Großgerät“ müssen gemeldet werden (Ziffer 11.2). Dies bedeutet, dass Unterzeichnerstaaten, die über UAVs oder andere UMS in ihrem militärischen Inventar verfügen, diese im

³⁸³ Siehe Artikel II Buchstaben L-P.

³⁸⁴ Deutscher Text siehe <http://www.osce.org/item/4251.html?lc=DE> (20. 7. 2008).

Rahmen des Wiener Dokuments melden müssen. Eine frühzeitige Information wird hier als vertrauensbildend angesehen.

Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa (OSZE)

Weitere politisch bindende Berichtspflichten ergeben sich im Rahmen des von der OSZE etablierten Systems eines globalen Austausches von militärischen Informationen. Am 3. Dezember 1994 wurde vom damaligen KSZE-Forum für Sicherheitskooperation (FSK)³⁸⁵ in Budapest das Dokument „Global Exchange of Military Information“ beschlossen, das den Informationsaustausch in Bezug auf Hauptwaffensysteme und militärische Ausrüstungsgegenstände regelt.³⁸⁶ Boden- und luftgestützte, unbemannte Fahrzeuge fallen hier unter Ziffer 3.

Berichtssystem im Rahmen der Vereinten Nationen

Die Vereinten Nationen haben ein Berichtssystem für konventionelle Waffen („Transparency in Armaments“) etabliert, das in der Resolution der Generalversammlung 46/36L³⁸⁷ vom 9. Dezember 1991 niedergelegt ist.³⁸⁸ Ziel der Vereinten Nationen war es, ein universelles und nicht diskriminierendes Regime zu errichten, das mehr Offenheit und Transparenz beim globalen Transfer von Waffen schaffen soll. Die Mitgliedsstaaten liefern zu diesem Zweck jährlich Daten zum Im- und Export von sieben Waffenkategorien.³⁸⁹ Gemeldet werden müssen das vollständige Waffensystem und zusätzliche technische Parameter (wie z.B. Kaliber, Gewicht etc.), nicht jedoch einzelne Komponenten. Darüber hinaus sind die Mitglieder angehalten, zusätzliche Informationen beizutragen.³⁹⁰

UAVs finden in diesen Kategorien keine gesonderte Erwähnung. Bei der Definition von Flugzeugen und Hubschraubern (als Waffenträger) wird jedoch nicht explizit zwischen unbemannt und bemannt unterschieden. Somit werden von der technischen Definition auch UAVs erfasst, soweit sie „combat aircraft“ oder „attack helicopters“ sind bzw. ihnen ähneln. Marschflugkörper werden separat erwähnt. Insgesamt haben 172 Staaten einen Bericht abgegeben, manche Staaten tun dies jährlich. Eine Gruppe von Regierungsexperten hat in ihrem Bericht von 2006

³⁸⁵ Zur Aufgabe des FSK siehe <http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Aussenpolitik/Themen/Abruestung/KonvRueKontrolle/OSZE-FSK.html> (20. 7. 2008).

³⁸⁶ Der Text ist zu finden unter: http://www.osce.org/documents/fsc/1994/12/4272_en.pdf (20. 7. 2008).

³⁸⁷ Siehe den englischen Resolutionstext: <http://disarmament.un.org/cab/ares4636l.html> (20. 7. 2008).

³⁸⁸ Die Resolution und die jährlichen Berichte sind zu finden unter: <http://disarmament.un.org/cab/register.html> (20. 7. 2008).

³⁸⁹ Es handelt sich um die fünf Kategorien der Hauptwaffensysteme des KSE-Vertrages sowie Kriegsschiffe und Raketen bzw. Raketenstartgeräte.

³⁹⁰ „available background information regarding their military holdings, procurement through national production, and relevant policies.“

vorgeschlagen, auch UAVs allgemein unter Kategorie IV, V, oder VII einzuordnen.³⁹¹ Diskussionen über weitere unbemannte Systeme sind bisher nicht zu verzeichnen.

4.1.4 Multilaterale Vereinbarungen zur Exportkontrolle

Missile Technology Control Regime

Bei dem 1987 durch die G7 ins Leben gerufenen „Missile Technology Control Regime“ (MTCR) handelt es sich um eine „informelle und freiwillige“ Gruppe von Staaten, die gemeinsame Exportrichtlinien erarbeitet haben, um den Export von Raketen und unbemannten Flugsystemen zu regeln.³⁹² Ursprünglich bezog sich das MTCR auf den Export von ballistischen Raketen, die Nuklearwaffen tragen können. Mitglieder sind 34 Staaten, darunter u.a. Deutschland, Frankreich, USA, Großbritannien, Japan, Italien, Russland, Kanada, Südkorea. Im Rahmen des MTCR werden nationale Exportkontrollen koordiniert. Dies geschieht zum einen durch den Austausch von Informationen, zum anderen dadurch, dass gemeinsame Standards, die so genannten MTCR-Richtlinien, verabredet werden.³⁹³ Diese Standards werden dann ihrerseits typischerweise in nationales Recht umgesetzt.³⁹⁴ Entscheidungen im MTCR werden im Konsensverfahren gefällt. Der Anwendungsbereich des MTCR war zunächst auf Trägersysteme mit der Fähigkeit, Nutzlasten ab 500 kg über 300 km und weiter zu transportieren, beschränkt. Das Regime wurde schrittweise ausgebaut, um generell unbemannte Trägersysteme für biologische, chemische und nukleare Nutzlasten zu erfassen. 1993 wurde für Trägersysteme, die chemische oder biologische Agenzien aussprühen könnten, die Nutzlastschwelle aufgehoben, 2003 für solche UAVs die Reichweitenschwelle.

Ausfuhrgenehmigungen sollen von den MTCR-Mitgliedern unter Beachtung der nachfolgenden fünf Faktoren beschieden werden:³⁹⁵

- Steht der Empfänger im Verdacht, Massenvernichtungswaffen zu erwerben?
- Was sind Zweck und Fähigkeiten des geplanten Raketen- und Weltraumprogramms des Empfängers?
- Liegt in der Lieferung ein möglicher Beitrag bezüglich der Weiterentwicklung von Trägersystemen für Massenvernichtungswaffen durch den Empfänger?

³⁹¹ UN-Dokument A/61/261, Continuing operation of the United Nations Register of Conventional Arms and its further development, 15. August 2006, Ziffer 96/97.

³⁹² Siehe dazu die MTCR-Homepage: <http://www.mtcr.info/english/index.html> (20. 7. 2008).

³⁹³ Die MTCR-Richtlinien sind zu finden unter: <http://www.mtcr.info/english/guidetext.htm> (20. 7. 2008).

³⁹⁴ In Deutschland werden die MTCR-Richtlinien in erster Linie über europäisches Sekundärrecht umgesetzt. Maßgeblich ist die Verordnung (EG) Nr. 1334/2000 des Rates vom 22. Juni 2000 über eine Gemeinschaftsregelung für die Kontrolle der Ausfuhr von Gütern und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck (ABl. L 159/1), zuletzt geändert durch VO 1183/2007 vom 18.09.2007 (ABl. L 278 vom 22.10.2007, S. 1-240).

³⁹⁵ Kimbal, 2004.

- Wie steht es um die Glaubwürdigkeit des Empfängers in Bezug auf die beabsichtigte Weiterverwendung der Lieferung?
- Verstößt der geplante Transfer gegen einen existierenden multilateralen Vertrag?

Ein „MTCR-Anhang-Handbuch“³⁹⁶ gibt Auskunft über sensitive MTCR-Technologien und enthält Definitionen, Terminologien und technische Spezifikationen der erfassten Trägersystem-Technologien. Es listet dabei sowohl komplette Systeme als auch einzelne Komponenten auf. Der „MTCR – Equipment, Software and Technology Annex“ vom 23. März 2007 stellt die heute aktuelle Aufstellung relevanter MTCR-Technologien für ballistische Raketen, Welt-raumträgersysteme, Höhenforschungsraketen, Marschflugkörper und UAVs dar.³⁹⁷

Die Unterteilung des MTCR erfolgt in zwei Kategorien:

Kategorie I umfasst Raketen- und UAV-Systeme (Marschflugkörper, UAVs, RPVs), die eine Nutzlast größer gleich 500 kg über mindestens 300 km tragen können. Unter Kategorie I gelistete Systeme oder Komponenten sollen grundsätzlich nicht exportiert werden, über eng eingegrenzte Ausnahmen von dieser Regel wird auf nationaler Ebene entschieden,³⁹⁸ der Export von Geräten oder Einrichtungen zur Produktion von Kategorie-I-Komponenten ist ausnahmslos verboten. (Siehe dazu Tabelle 4-2.)

Kategorie II listet Antriebskomponenten, Starteinrichtungen und andere Raketen- bzw. UAV-relevante Komponenten und Technologien auf, die unter Berücksichtigung rüstungspolitischer Überlegungen zwischenstaatlich exportiert werden dürfen, solange sie nicht Verwendung in einem Raketen- oder UAV-System der Kategorie I finden. Für UAVs sind die meisten der Kategorie-II-Komponenten, also z.B. Triebwerke, Verbundwerkstoffe oder Flugkontrollsysteme, verwendbar (siehe Tabelle 4-2). Aufgrund der Tatsache, dass auch UAVs mit Nutzlasten unter 500 kg B- oder C-Waffen transportieren können, wurden 1993 unbemannte Systeme jeglicher Nutzlast in die Kategorie II aufgenommen. Nach der Erweiterung erfassen die MTCR-Listen nun generell in Kategorie I Modelle, die 500 kg über 300 km transportieren können und in Kategorie II Modelle, die jegliche Nutzlast über 300 km transportieren können und nach Einschätzung von Experten ca. 80% des UAV-Marktes ausmachen.³⁹⁹ Seit 2003 werden unbemannte Systeme auch unabhängig von ihrer Reichweite in der Kategorie II erfasst, solange diese mit autonomer oder langreichweitiger Navigation/Fernsteuerung ausge-

³⁹⁶ MTCR, 2007.

³⁹⁷ MTCR, 2007a.

³⁹⁸ Es ist die Rede von „strong presumption to deny such transfers“, sie dürfen nur exportiert werden „on rare occasions and where the Government (A) obtains binding government-to-government undertakings embodying the assurances from the recipient government called for in paragraph 5 of these Guidelines and (B) assumes responsibility for taking all steps necessary to ensure that the item is put only to its stated end-use.“ Die Entscheidung hierüber ist nationale Angelegenheit. Für Produktionsanlagen gilt ein vollständiges Exportverbot: „the transfer of Category I production facilities will not be authorised“.

rüstet sind und über eine integrierte Sprühvorrichtung zur Ausbringung von Aerosolen oder eine entsprechende modulare Nachrüstbarkeit hierfür verfügen. Die letztgenannten Systeme sind besonders relevant für terroristische Anwendungen von Einzeltätern. Eine weitere wichtige Neuerung der vergangenen Jahre ist darüber hinaus die Erweiterung der MTCR-Liste auch auf solche Triebwerke (Turbofan, Turbojet etc.), welche für den Einbau in unbemannte Systeme der Kategorie II vorgesehen sind.⁴⁰⁰ Gleichzeitig stellen Gormley/Speier fest, dass die Nachfrage nach Kategorie-I-UAVs steigt. Sie könnten den Weg zum Bau von Marschflugkörpern mit MVW ebnen.

Das MTCR-Regime hat sicher dazu beigetragen, dass die Verbreitung von Trägertechnologien insbesondere in einigen Konfliktregionen verlangsamt worden ist. Allerdings sind einige Schlüsselexporteure nicht Mitglied des MTCR, so z.B. China, Israel, Indien, Iran, Nordkorea oder Pakistan. China hat allerdings erklärt, sich an die MTCR-Regeln halten zu wollen. Die MTCR-Regeln gelten nicht bei Exporten innerhalb der EU- und NATO-Staaten oder für die European Space Agency, d.h. über eine heimliche Weitergabe von Komponenten hinaus aus dieser lizenzfreien Zone hätte der ursprüngliche Erzeugerstaat nicht in jedem Fall die letztendliche Kontrolle.

Tabelle 4-2: Kategoriezuordnung – Ausgewählte, wichtige Schlüsselkomponenten und Zuordnungskriterien des MTCR

Kategorie I
Komplette UAV-Systeme (inkl. CM): Reichweite ≥ 300 km und Nutzlast ≥ 500 kg
Komplette Subsysteme nutzbar in Systemen ≥ 300 km, ≥ 500 kg
Steuersysteme mit CEP $< 3,33\%$ der Reichweite
Schubvektorkontroll-Subsysteme
Waffen- und Gefechtskopf-Sicherung, Bewaffnungs-, Zünd- und Abfeuermechanismen

Kategorie II
(Andere) komplette Systeme mit Reichweite ≥ 300 km oder autonomer Flug-/Navigationsskontrolle <u>und</u> System zur Aerosolverteilung (mit Flüssigkeits-Volumen > 20 l)
Turbojet-, Turbofanantriebe (Schub > 400 N und Treibstoffverbrauch $< 0,5$ kg/(N*h)), Ram-Jet-, ScramJet-, PulseJet- und Turbopropantriebe (Leistung > 10 kW)
Verbundstoffe, Laminate und damit verbundene Produktionsmittel

³⁹⁹ Gormley/Speier, 2003.

⁴⁰⁰ MTCR, 2007a.

Gyrostabilisatoren, Autopiloten; Gyro-Astro Kompassen; Linearbeschleunigungsmesser; Kreisel (mit Driftraten-Stabilität $< 0,5^\circ / h$); Trägheitssensorik; komplette Navigationssysteme (genauer als 200 m CEP); magnetische Dreiaachsen-Flugrichtungssensoren
Hydraulische, mechanische, elektro-optische oder elektromechanische Flugkontrollsysteme; Höhenkontrolle; Flugkontroll-Servoregler
Radar- und Laserradarsysteme; passive elektronische Peilsensoren; Empfangsgeräte für globale Satelliten-Navigationsgeräte (funktionsfähig bei Geschwindigkeiten $> 600 \text{ m/s}$, Empfang verschlüsselter Signale, Anti-Jam-Funktionen); umfasst auch 'Terrain Contour Mapping', 'Scene Mapping and Correlation', Doppler-Navigationsradar, passive Interferometer, Bildsensorik (passiv/aktiv)
Gerätschaften und Fahrzeuge zum Transport, zur Handhabung, zur Kontrolle, zur Aktivierung oder zum Start von UAVs der Kategorie 1; Steigungsmesser (Gravimeter und Gradiometer)
Bestimmte Fernmesstechnik und Fernsteuertechnik
(Ortungs-)Systeme , die eine Echtzeitbestimmung der Flugposition und Geschwindigkeit ermöglichen; Abstands-Radartechnik (Winkelauflösung $< 3 \text{ mrad}$, Reichweite $> 30 \text{ km}$, Längenauflösung $< 10 \text{ m rms}$, Geschwindigkeitsauflösung $< 3 \text{ m/s}$); Thermische Batterien
Analoge, digitale Computer ; digitale Differenzialanalysatoren (funktionsfähig zw. -45° C und $+55^\circ \text{ C}$, umwelt- und strahlengehärtet); Analog-Digital-Wandler
Vibrations-Testausrüstung; Windtunnel ($> 0,9 \text{ Mach}$); Teststände (ausgelegt auf Schub $> 68 \text{ kN}$); Umweltkammern; Elektronenbeschleuniger (Bremsstrahlung $> 2 \text{ MeV}$)
Hybrid-Computer und Software für die Modellierung, Simulation und Integration von Systemen der Kategorie 1
Bauteile und Materialien zur Reduzierung der Sichtbarkeit – Stealth-Technologie (elektromagnetisch, thermisch, akustisch)
Gegen nukleare Effekte geschützte Komponenten (Mikroschaltungen, Detektoren, Antennen/Radar)

CEP: circular error probable, wahrscheinliche Zielabweichung

Quelle: MTCR, 2007.

Bei der Tabelle ist zu beachten:

- Auswahl wichtiger Schlüsselkomponenten der Kategorien I und II.
- In Klammern finden sich ausgewählte wichtige Kriterien für die jeweilige Zuordnung zu den Kategorien, darüber hinaus gelten zumeist weitere Voraussetzungen.
- Bei Kategorie II ist zu beachten, dass manche Systeme, Bauteile oder Komponenten je nach ihrer Bestimmung/Verwendung nicht mehr zwangsläufig der Kategorie II unterliegen. Das gilt u.a. beim Export für den Einbau in bemannte Luftfahrzeuge; als Ersatzteil für die bemannte Luftfahrt; zu zivilen, kommerziellen, medizinischen und Regierungszwecken oder bei Nutzung in Satellitensystemen und bei Rettungsorganisationen (siehe hierfür den ausführlichen Annex).

The Hague Code of Conduct against Ballistic Missile Proliferation (HCOC)

Der Haager Verhaltenskodex gegen die Proliferation ballistischer Raketen wurde 2002 auf einer Staatenkonferenz verabschiedet, um ein umfassendes Instrument zur Nichtweiterverbreitung von Raketentechnologien zu schaffen. Es ist lediglich ein politisch bindendes Abkommen ohne völkerrechtliche Verbindlichkeit. Es tritt ein für den „verantwortungsvollen Umgang“ mit Raketen und enthält Prinzipien, Verpflichtungen und Vorschläge für vertrauensbildende Maßnahmen wie z.B.

- die Ankündigung geplanter Raketenstarts,
- die Erstellung von Jahresberichten durch die Mitglieder bezüglich militärischer und ziviler Transparenzmaßnahmen über Raketenbestände oder
- die Einladung internationaler Beobachter bei landgestützten Raketenstarts.

Auch enthält es eine Selbstverpflichtung der Mitgliedstaaten, die Weitergabe von militärischer Trägertechnologie durch multi- und bilaterale sowie nationale Maßnahmen, d.h. Exportkontrolle, einzudämmen. Eine eindeutige Verbotsnorm oder Kooperationsanreize enthält der HCOC hingegen nicht. 129 Staaten (Stand: März 2008) haben das Abkommen unterzeichnet. Nicht dazu gehören wichtige Staaten wie Ägypten, China, Brasilien, Israel, Iran, Nordkorea, Indien, Pakistan, Syrien. Obwohl Marschflugkörper zunehmend eine Rolle beim Transport von MVW spielen könnten, wurden sie bisher nicht in den HCOC aufgenommen. Bisher gibt es wenige Aktivitäten von Staaten, das Regime aktiv auszubauen bzw. durch die Praxis einer fortschreitenden Vertrauensbildung mit Aktivitäten zu beleben. Viele Staaten, darunter die USA, geben keinen jährlichen Bericht ab. Russland stellte seine Aktivitäten, die 2004 begonnen hatten, Anfang 2008 ein.⁴⁰¹ Dennis Gormley hat in seinem Redebeitrag bei einem von der Bundesregierung veranstalteten Seminar unmittelbar vor dem HCOC-Jahrestreffen 2007 auf die Notwendigkeit verwiesen, ballistische Raketen und Marschflugkörper gleich zu behandeln.⁴⁰² Die Blix-Kommission hat in ihrem Report den Vorschlag gemacht, ein multilaterales Datenzentrum einzurichten, das die gemeldeten Starts von ballistischen Raketen und Marschflugkörper sammelt und den Mitgliedern zu Verfügung stellt.⁴⁰³ International sind aber keine Aktivitäten zu verzeichnen, um der Weiterverbreitung neuer Trägertechnologien Einhalt zu gebieten.

Das Wassenaar-Abkommen

Das Wassenaar-Abkommen⁴⁰⁴ von 1996 ist der Nachfolger des COCOM-Exportkontroll-Regimes, das während des Kalten Krieges erfolgreich die Lieferung sensibler Technologie in den Ostblock verhinderte. Die Mitgliedstaaten erstellen Listen sensibler Güter und entscheiden über die Lieferung an Drittstaaten. Die politisch bindende Vereinbarung, die heute 40 Mitgliedstaaten hat, dient der Ergänzung und Bekräftigung bestehender Rüstungskontrollregime und der Rüstungsexportkontrolle hochsensibler Technologien.⁴⁰⁵ In zwischenstaatli

⁴⁰¹ Boese, 2008.

⁴⁰² CNS, 2007.

⁴⁰³ WMD Commission, 2006.

⁴⁰⁴ Siehe <http://www.wassenaar.org/> (20. 7. 2008).

⁴⁰⁵ Zur Rechtsnatur der Vereinbarung vgl. Jaffer, 2002; zur Einordnung in den GATT/WTO-Kontext Hölscher/Wolffgang, 1998.

cher Kooperation sollen die Bemühungen verstärkt werden, die Beschaffung von Rüstungsgütern und sensitiver Dual-Use-Technologie zu militärischen Endzwecken (durch Staaten wie auch durch nichtstaatliche Organisationen) zu unterbinden. Die beteiligten Staaten tauschen hierfür auf freiwilliger Basis Informationen zu Exporten von Rüstungsgütern und Dual-Use-Technologien, vor allem aber auch zu verweigerten Exporten, aus. Auf der Grundlage von Richtlinien⁴⁰⁶ und vereinbarten Kontrolllisten⁴⁰⁷ gestaltet jede Vertragspartei eigenständig und -verantwortlich ihre nationale Exportpolitik. Neben diesen beschlossenen, freiwilligen Richtlinien liegt das besondere Augenmerk auf bestimmten Arten von Dual-Use-Gütern und -Technologien, die in Kontrolllisten festgehalten wurden. Die beteiligten Staaten sind somit besonders dazu angehalten, im Rahmen von Exportgenehmigungen die Gegenstände dieser Listen zu kontrollieren. Die Kontrollliste für Dual-Use-Güter und -Technologien (Dual-Use List) unterteilt sich dabei in „sensitive“ und „hoch-sensitive“ Dual-Use-Güter. Relevant für UAVs sind insbesondere folgende „Dual-Use-Listen“ (Tabelle 4-3):

Tabelle 4-3 **Kategorien des Wassenaar Abkommens, die von besonderem Interesse in Hinsicht auf UMS sind** (mit einer für UMS relevanten Auswahl von Systemen, Ausrüstungen und Komponenten, die ggf. Exportbeschränkungen unterliegen)

CATEGORY 1 - ADVANCED MATERIALS	
	"Composite" structures or laminates (1.A.2)
CATEGORY 5 - TELECOMMUNICATIONS / INFORMATION SECURITY	
	Underwater untethered communications systems (5.A.1.b.1)
	Radio direction finding equipment (5.A.1.e)
	Jamming equipment (5.A.1.f)
	Passive Coherent Location systems (5.A.1.g)
	"Information security" systems, equipment and components therefore (5.A.2)
CATEGORY 6 - SENSORS AND LASERS	
	Marine acoustic systems, equipment and special designed components therefore (6.A.1)
	Optical Sensors or equipment and components (6.A.2)
	"Lasers", components and optical equipment (6.A.5)
	"Magnetometers", "magnetic gradiometers", "intrinsic magnetic gradiometers", "underwater electric field sensors", "compensation systems", and specially designed components therefore (6.A.6)
	Gravity meters and gravity gradiometers (6.A.7)
	Radar systems equipment and assemblies (6.A.8)
CATEGORY 7 - NAVIGATION AND AVIONICS	
	Accelerometers and specially designed components therefore (7.A.1)
	Gyros or angular rate sensors and specially designed components therefore (7.A.2)
	Inertial systems and specially designed components therefore (7.A.3)
	Global Navigation satellite systems receiving equipment (7.A.5)
	Underwater sonar navigation systems using doppler velocity or correlation velocity logs integrated with a heading source – position accuracy of equal or less than 3% of distance travelled CEP (7.A.8)

⁴⁰⁶ Wassenaar, 2007.

⁴⁰⁷ Wassenaar, 2007a.

CATEGORY 8 - MARINE	
	Submersible vehicles and surface vessels (8.A.1)
	Unmanned tethered submersible vehicles designed to operate at depths > 1000 m (8.A.1.c)
	Unmanned untethered submersible vehicles (8.A.1.d)
	Marine systems, equipment and components (8.A.2)
	Systems specially designed or modified for remote operation with an underwater vehicle (8.A.2.d.2)
	"Robots" specially designed for underwater use, controlled by using a dedicated computer (8.A.2.h)
	Pumpjet propulsion system having power output exceeding 2,5 MW (8.A.2.p)
CATEGORY 9 - AEROSPACE AND PROPULSION	
	Aero gas turbine engines (9.A.1)
	Marine gas turbine engines (9.A.2)
	Ramjet, scramjet or combined cycle engines and specially designed components therefore (9.A.11)
	Unmanned Aerial Vehicles (UAVs), associated systems, equipment and components (9.A.12)

Quelle: Wassenaar, 2007a.

4.2 Beurteilung der völkerrechtlichen Zulässigkeit des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt

Ob und gegebenenfalls inwieweit ein Einsatz von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt völkerrechtlich zulässig ist, ist nur auf der Grundlage des jeweils anwendbaren Rechts zu klären. Prüfungsmaßstab für die Beurteilung der völkerrechtlichen Zulässigkeit eines Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt sind die Normen des so genannten *ius in bello*.⁴⁰⁸ Zwar lässt sich das *in concreto* anwendbare Recht immer erst bestimmen, wenn der Konflikttypus und die an diesem Konflikt beteiligten Streitparteien identifiziert worden sind, da (1) zu prüfen ist, ob es sich um einen internationalen oder um einen nicht-internationalen Konflikt handelt, und (2), ob die jeweiligen Konfliktparteien auch Vertragsparteien einschlägiger völkerrechtlicher Verträge sind. Für die Zwecke dieses Gutachtens, das für deutsche Entscheidungsträger erstellt worden ist, legen wir jedoch die wichtigsten völkerrechtlichen Verträge zugrunde, die von der Bundesrepublik Deutschland ratifiziert worden sind. Außerdem berücksichtigen wir das einschlägige Völkergewohnheitsrecht. Denn es sind in erster Linie diese völkerrechtlichen Normen, die für das Verhalten der Organe der Bundesrepublik Deutschland maßgeblich sind.

⁴⁰⁸ Einen Überblick über das geltende *ius in bello* (das im bewaffneten Konflikt geltende Recht) gibt Bothe, 2007; eine zusammenfassende Darstellung des für den Einsatz von UCAVs einschlägigen humanitären Völkerrechts findet sich bei Dawkins, 2005, S. 25 ff.

Im Zentrum stehen die für den internationalen Konflikt maßgeblichen Bestimmungen der vier Genfer Abkommen von 1949⁴⁰⁹ und der zwei Zusatzprotokolle von 1977⁴¹⁰ sowie weitere vertragliche Bestimmungen, insbesondere solche, die bestimmte Arten von Waffen generell oder in bestimmten Situationen verbieten.⁴¹¹ Für das Völkergewohnheitsrecht greift unsere gutachterliche Stellungnahme auf die einschlägige Studie des IKRK⁴¹² zurück, deren Ziel es war, den Stand des geltenden Völkergewohnheitsrechts im bewaffneten Konflikt festzuhalten.⁴¹³

4.2.1 Prüfungspflicht der Bundesrepublik Deutschland (Artikel 36 ZP I)

Wenn und insoweit die Bundesrepublik Deutschland erwägt, unbemannte Systeme (neu) für die Streitkräfte einzuführen, so ist zunächst einmal Artikel 36 ZP I zu beachten. In dieser Bestimmung wird für die Vertragsparteien verbindlich festgelegt: „Jede Hohe Vertragspartei ist verpflichtet, bei der Prüfung, Entwicklung, Beschaffung oder Einführung neuer Waffen oder neuer Mittel oder Methoden der Kriegführung festzustellen, ob ihre Verwendung stets oder unter bestimmten Umständen durch dieses Protokoll oder durch eine andere auf die Hohe Vertragspartei anwendbare Regel des Völkerrechts verboten wäre.“ Der Einsatz unbemannter Systeme gehört auch dann, wenn er lediglich der Aufklärung dient, zu den „Methoden der Kriegführung“.⁴¹⁴ Bewaffnete unbemannte Systeme sind im bewaffneten Konflikt Mittel der Kriegführung. Internationale Einsatzbeispiele⁴¹⁵ sind etwa die Nutzung des mit Hellfire-Mis-

⁴⁰⁹ Es sind dies die vier Genfer Rotkreuz-Abkommen vom 12. August 1949 (BGBl. 1954 II S. 783, 813, 838, 917): I. Genfer Abkommen zur Verbesserung des Loses der Verwundeten und Kranken der Streitkräfte im Felde, II. Genfer Abkommen zur Verbesserung des Loses der Verwundeten, Kranken und Schiffbrüchigen der Streitkräfte zur See, III. Genfer Abkommen über die Behandlung von Kriegsgefangenen, IV. Genfer Abkommen zum Schutze von Zivilpersonen in Kriegszeiten. Eine übersichtliche Zusammenstellung der Rechtsgrundlagen des humanitären Völkerrechts in bewaffneten Konflikten gibt Bundesministerium der Verteidigung, 1993, S. 12.

⁴¹⁰ Zusatzprotokoll vom 8. Juni 1977 zu den Genfer Abkommen vom 12. August 1949 über den Schutz der Opfer internationaler bewaffneter Konflikte – Protokoll I – (BGBl. 1990 II S. 1551); Zusatzprotokoll zu den Genfer Abkommen vom 12. August 1949 über den Schutz der Opfer nicht internationaler bewaffneter Konflikte (Protokoll II) vom 8. Juni 1977 (BGBl. 1990 II S. 1637).

⁴¹¹ Hierzu gehören insbesondere das Übereinkommen vom 10. April 1972 über das Verbot der Entwicklung, Herstellung und Lagerung bakteriologischer (biologischer) Waffen und von Toxinwaffen sowie über die Vernichtung solcher Waffen (BGBl. 1983 II S. 132), das Chemiewaffen-Übereinkommens vom 13. Januar 1993 (BGBl. II 1994 S. 806) sowie das VN-Waffenübereinkommen mit seinen für die Bundesrepublik Deutschland in Kraft getretenen Protokollen (Fundstelle des Übereinkommens: BGBl. 1992 II S. 958; 1993 II S. 935).

⁴¹² Henckaerts/Doswald-Beck, 2005.

⁴¹³ Die Studie ist in ihren zentralen Inhalten weitgehend unumstritten. Es gibt allerdings eine lebhafte Debatte über Methodenfragen sowie über einzelne Teilbereiche der Studie; vgl. dazu nur Dinstein, 2006.

⁴¹⁴ Einen Überblick über Mittel und Methoden der Kriegführung aus völkerrechtlicher Perspektive gibt Hays Parks, 2006. Speziell zum nicht-internationalen Konflikt siehe auch Turns, 2002.

⁴¹⁵ Die nachfolgenden Beispiele sind der Studie von Dawkins, 2005, entnommen. Dabei gehen wir in Bezug auf die Beispiele nicht der Frage nach, ob es sich im konkreten Fall jeweils um einen bewaffneten (internationalen oder nicht-internationalen) Konflikt handelt. Auch handelt es sich nicht um Praxis der Bundesrepublik Deutschland.

siles bestückten Predator (UAV) zur Terroristenbekämpfung im Jemen⁴¹⁶ oder für Aufklärungsflüge in Afghanistan.⁴¹⁷ Es sind aber auch Angriffe eines *Predator* in Verbindung mit der Bombardierung durch F-15-Kampffjets zur gezielten Tötung von Terroristen dokumentiert.⁴¹⁸ Im Rahmen des Artikel 36 ZP I ist zu prüfen, ob die „Verwendung stets oder unter bestimmten Umständen“ verboten wäre. Dies bedeutet, dass unabhängig davon, dass es gegenwärtig (noch) keine spezifischen Bestimmungen über die generelle Unzulässigkeit des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt gibt, im Einzelnen zu überprüfen ist, ob unter bestimmten Voraussetzungen der Einsatz von unbemannten Systemen gegen Bestimmungen des ZP I, anderer einschlägiger völkerrechtlicher Verträge oder des Völkergewohnheitsrechts verstoßen würde.⁴¹⁹ Hierfür hat das IKRK Handreichungen⁴²⁰ entwickelt, die von der Bundesrepublik Deutschland berücksichtigt werden sollten.

Im Einzelnen lässt sich den Handreichungen des IKRK folgendes entnehmen:

- Artikel 36 Abs. 1 ZP I trifft keine Festlegungen darüber, in welcher Form und auf welche Weise der Überprüfungsmechanismus eingeführt werden soll. Nach Artikel 84 ZP I ist jede Vertragspartei dafür selbst verantwortlich. Vorzugswürdig sind Überprüfungsverfahren, die auf gesetzlicher Grundlage durchgeführt werden.
- Artikel 36 ZP I verlangt, dass die Überprüfung sich auf Forschung, Entwicklung, Beschaffung und Einsatz beziehen muss. Dies bedeutet, dass so früh wie möglich mit der Überprüfung zu beginnen ist.
- Alle Prüfungsschritte und -ergebnisse sind zu dokumentieren.
- Die Überprüfungsentscheidungen können nach Art. 84 I ZPI an andere Vertragsstaaten weitergegeben werden.
- In der Bundesrepublik Deutschland liegt die Zuständigkeit beim Bundesministerium der Verteidigung.⁴²¹

4.2.2 Nationalitätszeichen

Nicht völlig eindeutig lässt sich gegenwärtig die Frage beantworten, ob unbemannte Systeme jedenfalls im bewaffneten Konflikt nur eingesetzt werden dürfen, wenn sie mit einem entspre-

⁴¹⁶ Vgl. nur Thomas/Hosenball, 2002.

⁴¹⁷ S. dazu Bender, 2005.

⁴¹⁸ Vgl. dazu auch Rötzer, 2002.

⁴¹⁹ Zu dieser Verpflichtung aller Vertragsparteien des I. Zusatzprotokolls vgl. Daoust/Coupland/Ishoey, 2002. Vgl. dazu auch Fry, 2006.

⁴²⁰ Lawand, 2006.

⁴²¹ Weber, 2004, S. 691.

chenden Nationalitätszeichen versehen sind.⁴²² Zwar bestimmt Artikel 3 der Haager Luftkriegsregeln von 1923,⁴²³ dass ein „militärische(s) Luftfahrzeug ... ein äußeres Kennzeichen tragen (muss), das seine Nationalität und seinen militärischen Charakter anzeigt“. Die Haager Luftkriegsregeln sind aber als solche nicht verbindlich.⁴²⁴ Ihre gewohnheitsrechtliche Geltung ist nur teilweise anerkannt.⁴²⁵ Gegenwärtig wird an einem Entwurf für neue Luftkriegsregeln gearbeitet, der allerdings nach den uns vorliegenden Erkenntnissen nur sehr rudimentär zu unbemannten Systemen Stellung nimmt.⁴²⁶

Eindeutig lässt sich gegenwärtig nur festhalten, dass jedenfalls die Verwendung falscher Nationalitätszeichen von Artikel 39 ZP I verboten wird.⁴²⁷ Streitig ist, ob unter Rückgriff auf die Artikel 43 und 44 ZP I eine Pflicht zum Führen von Nationalitätszeichen begründet werden kann.

4.2.3 Einsatz von unbemannten Systemen für Aufklärungszwecke

Außerhalb bewaffneter Konflikte sind Aufklärungsmaßnahmen,⁴²⁸ die das Hoheitsgebiet eines anderen Staates, dessen Luftraum oder dessen Territorialgewässer berühren, wegen Verletzung der territorialen Integrität dieses Staates völkerrechtswidrig. Die Satellitenfernerkundung ist grundsätzlich nicht völkerrechtswidrig, weil sie keine Beeinträchtigung des Luftraums darstellt, bewegt sich der jeweilige Satellit doch jenseits der allgemein anerkannten Grenzen des Luftraums.⁴²⁹ Verschiedene völkerrechtliche Verträge gehen implizit oder explizit sogar von der Zulässigkeit der Fernerkundung aus.⁴³⁰

Im bewaffneten Konflikt scheitern Aufklärungsmaßnahmen auf dem Territorium, innerhalb des Luftraums oder in den Territorialgewässern der gegnerischen Konfliktpartei dagegen nicht am Schutz der territorialen Integrität. Vielmehr gelten nunmehr die Regeln des humanitären Völkerrechts. Aufklärungsmaßnahmen sind danach nicht nur zulässig, sondern unter

⁴²² Zur Rechtslage vor Inkrafttreten der Zusatzprotokolle von 1977 vgl. Troschke, 1967. Zu neueren Entwicklungen vgl. Pfanner, 2004.

⁴²³ Abgedruckt bei Roberts/Guelff, 2000, S. 139 ff.; American Journal of International Law 17 (1923), Supplement, S. 245 ff., sowie bei Schindler/Thomas, 1998, S. 207 ff.

⁴²⁴ Ronzitti, 2006, S. 7.

⁴²⁵ Ronzitti, 2006, S. 7-8.

⁴²⁶ Vgl. dazu auch das Projekt der International Humanitarian Law Research Initiative: IHL in Air and Missile Warfare, abrufbar unter <http://www.ihlresearch.org/amw/topics.php> (20. 7. 2008).

⁴²⁷ S. dazu nur Jean de Preux, in: Sandoz, 1987, Art. 39.

⁴²⁸ Zu den völkerrechtlichen Rahmenbedingungen von Aufklärungsmaßnahmen vgl. Sulmasy, 2007; zu Aufklärungsmaßnahmen in der ausschließlichen Wirtschaftszone vgl. Ball, 2004.

⁴²⁹ Dies ist heute unstrittig; statt dessen wird über die völkerrechtlichen Rahmenbedingungen einer kommerziellen Nutzung von Fernerkundung diskutiert; vgl. Williams, 2001. Zu den Rechtsentwicklungen seit der Annahme der Remote Sensing Principles durch die Vereinten Nationen vgl. Marchisio, 2004.

⁴³⁰ Vgl. dazu etwa den Vertrag über den Offenen Himmel vom 24. März 1992, BGBl. 1993 II S. 2047. Dies ergibt sich daraus, dass dieser Vertrag ausdrücklich auch Beobachtungsflüge im Luftraum zulässt. Zu den Einzelheiten vgl. Kaukoranta, 2003. Vgl. auch Spitzer, 2004.

bestimmten Voraussetzungen sogar geboten, wenn es etwa darum geht, bei der Zielauswahl und -erfassung (dem „targeting“) ein möglichst hohes Maß an Sorgfalt einzusetzen, um dem Unterscheidungsgrundsatz Rechnung zu tragen.⁴³¹ Die völkerrechtliche Zulässigkeit von Aufklärungsmaßnahmen schließt die Möglichkeit nicht aus, Spionage innerstaatlich unter Strafe zu stellen.⁴³² Das entsprechende Risiko trägt der Informationsoperationen durchführende Staat.

Eine Aufklärungsmaßnahme kann allerdings im Einzelfall unzulässig sein, wenn und soweit sie Regeln des Rechts im bewaffneten Konflikt verletzt. Dabei kann sich eine Unzulässigkeit aus einer möglicherweise erhöhten Unfall- und Absturzgefahr unbemannter Fahrzeuge ergeben, soweit diese zu einer Gefährdung der Zivilbevölkerung oder besonders geschützter Anlagen und Installationen führt.⁴³³ Artikel 51 ZP I schützt die Zivilbevölkerung allgemein „vor den von Kriegshandlungen ausgehenden Gefahren“. Die Artikel 52-56 ZP I stellen zivile Objekte unter besonderen Schutz. Artikel 57 Absatz 1 ZP I schließlich verlangt Vorsichtsmaßnahmen von den Konfliktparteien und bestimmt: „Bei Kriegshandlungen ist stets darauf zu achten, dass die Zivilbevölkerung, Zivilpersonen und zivile Objekte verschont bleiben“.⁴³⁴ Ausdrücklich heißt es in Absatz 4 desselben Artikels dann noch: „Bei Kriegshandlungen auf See oder in der Luft hat jede am Konflikt beteiligte Partei im Einklang mit den Rechten und Pflichten, die sich aus den Regeln des in bewaffneten Konflikten anwendbaren Völkerrechts für sie ergeben, alle angemessenen Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um Verluste unter der Zivilbevölkerung und die Beschädigung ziviler Objekte zu vermeiden“.⁴³⁵

Die genannten Bestimmungen verpflichten die Vertragsparteien insbesondere dazu, beim Einsatz von unbemannten Systemen alle erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um eine Gefährdung der Zivilbevölkerung oder ziviler Objekte beispielsweise auch durch den Absturz (oder durch andere unbeabsichtigte Nebenwirkungen) von unbemannten Luftfahrzeugen (oder entsprechender Geräte zu Wasser und auf dem Land)⁴³⁶ zu vermeiden.

⁴³¹ Vgl. statt aller Fenrick, 2001.

⁴³² Vgl. dazu Frowein/Wolfrum/Schuster, 1995.

⁴³³ Vgl. dazu die Kommentierung der Art. 52-56 im Kommentar des IKRK zu den Zusatzprotokollen (Sandoz, 1987).

⁴³⁴ Vgl. dazu auch Bothe, 2002.

⁴³⁵ Umfassend Moir, 1997. Auch der Schutz der Umwelt verlangt Vorsichtsmaßnahmen der Konfliktparteien, vgl. Desgagné, 2000, S. 109 ff.

⁴³⁶ Für den Seekrieg sind die Bestimmungen des San Remo Manuals einschlägig, vgl. Doswald-Beck, 1995. Zu erforderlichen Anpassungen vgl. Heintschel von Heinegg, 2006.

4.2.4 Bewaffnung unbemannter Systeme

Für die Bewaffnung unbemannter Systeme ist zu beachten, dass die einschlägigen Regeln des humanitären Völkerrechts auch hier Anwendung finden. Artikel 35 Absatz 1 ZP I betont: „In einem bewaffneten Konflikt haben die am Konflikt beteiligten Parteien kein unbeschränktes Recht in der Wahl der Methoden und Mittel der Kriegführung“. Dabei sind die völkerrechtlich vereinbarten Waffenverbote zu beachten.⁴³⁷ Dies bedeutet insbesondere, dass unbewaffnete Systeme nicht mit biologischen oder chemischen Waffen bestückt werden dürfen.⁴³⁸ Überlegungen für die Bestückung von Mini-UAVs mit genetischen Waffen⁴³⁹ sind vor diesem Hintergrund kritisch zu würdigen.⁴⁴⁰ Auch sind bei der Bestückung von unbemannten Systemen die Einsatzbeschränkungen in Bezug auf die im Protokoll IV zum VN-Waffenübereinkommen definierten Laserblendwaffen⁴⁴¹ und die im Protokoll III zum VN-Waffenübereinkommen definierten Brandwaffen zu beachten.⁴⁴²

Neben den spezifischen Waffenverboten ist aber auch zu bedenken, dass Artikel 35 Absatz 2 ZP I die Martens'sche Klausel⁴⁴³ aufgreift und es den Vertragsparteien untersagt, „Waffen, Geschosse und Material sowie Methoden der Kriegführung zu verwenden, die geeignet sind, überflüssige Verletzungen oder unnötige Leiden zu verursachen“. Es ist auch verboten (Artikel 35 Absatz 3 ZP I), „Methoden oder Mittel der Kriegführung zu verwenden, die dazu bestimmt sind oder von denen erwartet werden kann, dass sie ausgedehnte, lang anhaltende und schwere Schäden der natürlichen Umwelt verursachen“. Besonders zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die Unterscheidung zwischen tödlichen und nicht-tödlichen Waffen nicht die allgemeinen Regeln überlagern kann.⁴⁴⁴ Diese Differenzierung kann allen-

⁴³⁷ Es würde den Rahmen dieses Gutachtens sprengen, wollte man in diesem Zusammenhang alle Waffenverbote thematisieren.

⁴³⁸ Dies ergibt sich nicht nur aus den jeweiligen Verbotsbestimmungen des B-Waffen-Übereinkommens und des C-Waffen-Übereinkommens, sondern auch aus dem Genfer Giftgasprotokoll 1925 (RGBl. 1929 II, S. 174) sowie einschlägigen völkergewohnheitsrechtlichen Verboten. Hervorzuheben ist insbesondere, dass das C-Waffen-Übereinkommen das Verbot dahingehend präzisiert, dass der Einsatz von chemischen Waffen „never under any circumstances“ erfolgen darf.

⁴³⁹ Hauck, 2005.

⁴⁴⁰ Bedauerlicherweise ist die Rechtslage im Hinblick auf genetische Waffen nicht eindeutig, auch wenn eine an Sinn und Zweck der CBW-Regelungen orientierte Auslegung dafür spricht, dass Waffen mit genetisch modifizierten Substanzen oder mit Auslösern genetischer Veränderungen derzeit nicht völkerrechtskonform eingesetzt werden können; vgl. aber Wheelis/Dando, 2002.

⁴⁴¹ Das VN-Waffenübereinkommen ist ein Rahmenübereinkommen (Übereinkommen vom 10. Oktober 1980 über das Verbot oder die Beschränkung des Einsatzes bestimmter konventioneller Waffen, die übermäßige Leiden verursachen oder unterschiedslos wirken können, BGBl. 1992 II S. 958; 1993 II S. 935). Waffenverbote ergeben sich aus den Protokollen. Protokoll IV betrifft Laserblendwaffen (BGBl. 1997 II S. 806 (827)). Vgl. Zöckler, 1998.

⁴⁴² Protokoll III definiert Brandwaffen und beschränkt deren Einsatz; Protokoll über das Verbot oder die Beschränkung des Einsatzes von Brandwaffen (Protokoll III) (BGBl. 1992 II S. 958, 975).

⁴⁴³ Eingehend hierzu Schircks, 2002.

⁴⁴⁴ Vgl. dazu u.a. Dando, 2002; Fidler, 1999; nicht wirklich zu überzeugen vermag Krüger-Sprengel, 1999.

falls innerhalb dieser Regeln Berücksichtigung finden, wenn es um die Verhältnismäßigkeit einer Maßnahme im bewaffneten Konflikt geht.

4.2.5 Die besondere Bedeutung des Unterscheidungsgebotes für unbemannte Systeme

Generell gilt im bewaffneten Konflikt das Unterscheidungsgebot, das die Konfliktparteien insbesondere dazu verpflichtet, die Zivilbevölkerung und zivile Objekte zu schützen (Artikel 48 ZP I). Dabei kommt Artikel 51 ZP I besondere Bedeutung zu.⁴⁴⁵ Absatz 4 dieses Artikels verbietet unterschiedslose Angriffe. Der Begriff des unterschiedslosen Angriffs wird wie folgt näher definiert:

„Unterschiedslose Angriffe sind

- a) Angriffe, die nicht gegen ein bestimmtes militärisches Ziel gerichtet werden,
 - b) Angriffe, bei denen Kampfmethoden oder -mittel angewendet werden, die nicht gegen ein bestimmtes militärisches Ziel gerichtet werden können, oder
 - c) Angriffe, bei denen Kampfmethoden oder -mittel angewendet werden, deren Wirkungen nicht entsprechend den Vorschriften dieses Protokolls begrenzt werden können
- und die daher in jedem dieser Fälle militärische Ziele und Zivilpersonen oder zivile Objekte unterschiedslos treffen können.“

Hier stellen sich zahlreiche Fragen, die insbesondere daraus resultieren, dass sich die Rahmenbedingungen eines Einsatzes zwischen dem Beginn des Einsatzes unbemannter Systeme und dem Eintreffen am Zielort verändern können. Inwieweit sind unbemannte Systeme tatsächlich in der Lage, darauf zu reagieren, dass ein ursprünglich militärisches Objekt nicht mehr angegriffen werden darf, weil sich sein Status verändert hat? Kann künstliche Intelligenz darauf reagieren, dass sich im Zielgebiet des unbemannten Systems eine neue Konstellation hinsichtlich der Zivilbevölkerung oder ziviler Objekte ergeben hat? Ganz wesentlich für die Beantwortung dieser Fragen und damit für die Frage, unter welchen Voraussetzungen ein unbemanntes System unter Umständen deshalb verboten ist, weil es dazu führt, dass die Wirkungen des mit ihm durchgeführten Angriffs „nicht entsprechend den Vorschriften dieses Protokolls begrenzt werden können“, sind (1) der Zeitpunkt von Zielerfassung und Zielbestimmung, (2) der relevante Zeitraum für die Korrektur von Zielerfassung und -bestimmung sowie (3) die Anforderungen an eine Intervention des Steuerers oder mit Hilfe künstlicher Intelligenz bewirkter automatisierter Korrektur zwischen dem Start des unbemannten Systems

⁴⁴⁵ Vgl. zur Anwendung von Artikel 51 ZP I bei so genannten Flächenbombardements Marauhn/Kirchner, 2006.

und der Entfaltung seiner Waffenwirkung(en) am Zielort. Zwar stellt das humanitäre Völkerrecht hier keine unerfüllbaren Anforderungen; es ist aber auch eindeutig, dass mit zunehmender Ausdifferenzierung und Spezifizierung der Steuerungssysteme („sophistication“) die relativen Anforderungen steigen. Der Einsatz von „high-tech“ und „smart weapons“⁴⁴⁶ und die damit verbundene „revolution in military affairs“⁴⁴⁷ führen nicht nur dazu, dass der über diese Mittel verfügende Staat einen militärischen Vorteil gewinnt, sondern auch dazu, dass die an diesen Staat gestellten Anforderungen des humanitären Völkerrechts entsprechend seinen militär-technologischen Fähigkeiten zunehmen.⁴⁴⁸

Ausgangspunkt der nachfolgenden Erwägungen ist zunächst die schlichte Feststellung, dass die Streitkräfte zwar zum Schutz der Zivilbevölkerung verpflichtet sind, dass sie aber keine über die Bestimmungen des Artikels 51 ff. ZP I hinausgehenden Gefährdungen ihrer eigenen Sicherheit beim Kampfeinsatz hinnehmen müssen. Dass die „Zivilbevölkerung und einzelne Zivilpersonen ... allgemeinen Schutz vor den von Kriegshandlungen ausgehenden Gefahren“ genießen, beinhaltet keine Pflicht der Streitkräfte zur Selbstgefährdung. Die Verhaltensanforderungen an die Streitkräfte werden vielmehr in den Artikeln 51 ff. ZP I konkretisiert. Darüber hinaus müssen die Streitkräfte sich nicht selbst gefährden, nur um die Zivilbevölkerung in möglichst hohem Maß zu schützen. Insbesondere gibt es keine generelle Pflicht, in Ermangelung von „smart weapons“ Angriffe in Reichweite der gegnerischen Luftabwehr zu fliegen, nur um Opfer unter der Zivilbevölkerung der gegnerischen Partei zu vermeiden.⁴⁴⁹ Der Einsatz von UMS erhöht den Schutz der eigenen Streitkräfte bei Kampfhandlungen, weil das Personal regelmäßig nicht in direkten Kontakt mit den gegnerischen Streitkräften tritt. Deshalb ist ein Einsatz von UMS nicht zu beanstanden, so lange die jeweiligen Anforderungen des humanitären Völkerrechts, wie sie sich insbesondere aus den Artikeln 51 ff. ZP I ergeben, beachtet werden.⁴⁵⁰

Geht man zunächst auf Zielerfassung und Zielbestimmung ein,⁴⁵¹ so lässt sich festhalten, dass der technologische Fortschritt dazu geführt hat, dass die Anforderungen an das „targeting“

⁴⁴⁶ Schmitt, 2005.

⁴⁴⁷ Statt aller Marauhn, 2002.

⁴⁴⁸ Schmitt, 2003.

⁴⁴⁹ Vgl. hierzu nur Schmitt, 2007.

⁴⁵⁰ Vgl. Oeter, 2007.

⁴⁵¹ S. dazu nur Jaques, 2006.

deutlich zugenommen haben.⁴⁵² Dies setzt nicht nur ein hohes Maß an Aufklärung voraus, sondern verlangt auch eine kontinuierliche Fortsetzung von Aufklärungsmaßnahmen.⁴⁵³

Was den Zeitraum bzw. Zeitpunkt der Zielerfassung und Zielbestimmung betrifft, so sind hier nicht nur die neuen Erkenntnisse im Zusammenhang mit der „klassischen“ Bombardierung von Zielen zu berücksichtigen.⁴⁵⁴ sondern insbesondere auch die Erfahrungen und die Bewertungen des Einsatzes von Marschflugkörpern,⁴⁵⁵

Die Bedeutung künstlicher Intelligenz im Allgemeinen sowie insbesondere deren Relevanz für die Korrektur und Anpassung von Veränderungen im Zielgebiet nach dem Start unbemannter Fahr- und Flugzeuge ist bislang nur unzureichend problematisiert worden. Zwar weisen neuere Publikationen darauf hin, dass einschlägige technologische Fortschritte für die völkerrechtliche Beurteilung von Maßnahmen bedeutend sind.⁴⁵⁶ Spezifizierungen werden allerdings nur selten getroffen. Vor diesem Hintergrund lassen sich im vorliegenden Zusammenhang zumindest einige Eckpunkte festhalten: Soweit wie möglich muss eine Überwachung des Flug- und Fahrverlaufs unbemannter Systeme durch den Bediener erfolgen. Der Einsatz künstlicher Intelligenz muss wegen der besonderen Bedeutung rechtlicher Wertungen mit menschlicher Verantwortung rückgekoppelt werden. Am besten ist es daher, wenn der Bediener möglichst weitreichende Möglichkeiten hat, in den Einsatzverlauf von unbemannten Systemen zu intervenieren. Sollte dies nicht (kontinuierlich) möglich sein, so stellt sich die Frage, auf welche Veränderungen des Zielgebiets ein unbemanntes System automatisiert mit einer Korrektur von Zielbestimmung und -erfassung reagieren kann. Hier lassen sich möglicherweise auf der Grundlage von Infrarot- und Wärmedetektoren gewisse Automatisierungen in den Operationsverlauf integrieren. Jedenfalls aber sollte es möglich sein, dass ein unbemanntes System auf eine wesentliche Veränderung im Ziel- oder Einsatzgebiet auch dadurch reagieren kann, dass es entweder zur Basis zurückkehrt oder sich selbst zerstört. Völkerrechtlich sind Selbstzerstörungsmechanismen mittlerweile ein anerkanntes Instrument,⁴⁵⁷ um verbotene Waffenwirkungen auszuschließen.⁴⁵⁸

⁴⁵² Bothe, 2001.

⁴⁵³ Schmitt, 2004.

⁴⁵⁴ Roscini, 2005.

⁴⁵⁵ Gormley, 2003; vgl. auch Burger, 2000.

⁴⁵⁶ Marauhn/Kirchner, 2006, S. 88.

⁴⁵⁷ Vgl. dazu etwa das Protokoll über das Verbot oder die Beschränkung des Einsatzes von Minen, Sprengfallen und anderen Vorrichtungen in der am 3. Mai 1996 geänderten Fassung (Geändertes Protokoll II), BGBl. 1997 II S. 806, 807.

⁴⁵⁸ Hierbei ist zu berücksichtigen, dass der vom Zielort entfernte Bediener deutlich weniger Informationen zur Verfügung hat als am Zielort eingesetztes Personal. Die bei UAVs übliche Übertragung von Videobildern vermag dieses Informationsdefizit nur eingeschränkt zu kompensieren, zumal sich Zielpersonen auf diese Weise eben doch nicht immer eindeutig identifizieren lassen. Dies belegen verschiedene Fälle, in denen Zivilisten als Terroristen angesehen und getötet wurden. Im Gegensatz zur Bedienung aus der Distanz

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage nach der rechtlichen Einordnung von völlig autonomen Systemen, welche ohne jegliche Steuerung selbständig Kriegshandlungen durchführen. Der Einsatz völlig autonomer Systeme wird in Zukunft durchaus erwartet.⁴⁵⁹ Hier ist die Frage von besonderer Bedeutung, wie die Verantwortlichkeit für etwaige Kriegsverbrechen zu beurteilen ist. Falls ein völlig autonomes UCAV im Rahmen von Kriegshandlungen gegen die Regeln des *ius in bello* verstößt, könnten theoretisch der Programmierer des Systems, der Offizier, welcher das System eingesetzt hat, oder das System an sich (wenn es eine entsprechende Zuordnung von Verantwortlichkeit gibt) für ein Kriegsverbrechen verantwortlich sein.⁴⁶⁰ Den Programmierer könnte man nur dann zur Verantwortung ziehen, wenn die rechtswidrige Handlung des Systems auf eine Fehlprogrammierung zurück geht.⁴⁶¹ Jedoch ist es schwierig, den Programmierer zur Verantwortung zu ziehen, sofern keine Fehlprogrammierung vorliegt und der Programmierer das Militär beim Kauf des Systems über alle möglichen Handlungen des Systems aufgeklärt hat. Dann würde wohl die Verantwortung auf den Nutzer übergehen.⁴⁶² Zu erwägen wäre, den verantwortlichen Offizier für alle durch den Waffeneinsatz entstandenen Schäden verantwortlich zu machen, soweit er den Einsatz der Waffe „delegiert“ hat (also dem autonomen System übertragen hat). Man könnte den Einsatz völlig autonomer Systeme, welche ein nicht legitimes Ziel zerstört haben, aber auch genau so behandeln, wie eine „normale“ Waffe, welche ihr Ziel verfehlt und unbeabsichtigte Schäden verursacht. Dies ist jedoch zweifelhaft, wenn man berücksichtigt, dass völlig autonome Systeme, anders als eine „normale“ Waffe, ihre Ziele selbständig suchen und verändern können, also einen neuen Geschehensablauf herbeiführen können, welcher vom zuständigen Offizier überhaupt nicht geplant war. Den kommandierenden Offizier in einem solchen Fall zur Verantwortung zu ziehen, scheint grundsätzlich nicht sachgerecht.⁴⁶³ Zu prüfen wäre jedoch, ob die Vorhersehbarkeit eines entsprechenden völkerrechtswidrigen Verlaufs des Waffeneinsatzes insoweit eine Verantwortlichkeit des Offiziers begründen könnte, als dann von einem Einsatz autonomer Systeme hätte abgesehen werden müssen. Der Ansatz, die Verantwortung beim System selbst zu lokalisieren, vermag nicht zu überzeugen. Unbemannte Systeme, unabhängig davon, wie weit fortgeschritten die Entwicklung der künstlichen Intelligenz sein mag, bleiben Maschinen und sind einer Verantwortlichkeit (die immer auch die Möglichkeit alternativen

haben am Zielort verfügbare Einsatzkräfte die Möglichkeit, Personen ggfs. festzunehmen und deren Identität zu überprüfen.

⁴⁵⁹ Vgl. dazu Sparrow, 2007; Sharkey, 2007.

⁴⁶⁰ Sparrow, 2007, S. 67 ff.

⁴⁶¹ Ebd., S. 69 ff.

⁴⁶² Ebd.

⁴⁶³ Ebd., S. 70 ff.

Handelns einschließt) für von ihnen verursachte Schäden nicht zugänglich.⁴⁶⁴ Somit ist der Einsatz von völlig autonomen Systemen nach den geltenden Regeln des *ius in bello* nicht zu rechtfertigen.

UMS sind auch dann von Bedeutung, wenn ein Staat eine Politik so genannter gezielter Tötungen verfolgt. Im Zusammenhang mit einem bewaffneten Konflikt wie auch im Rahmen einer militärischen Besetzung verstößt eine solche Politik jedenfalls dann gegen die Bestimmungen der Genfer Abkommen und des I. Zusatzprotokolls, wenn Anführer bewaffneter Gruppen als unbewaffnete Zivilisten zu qualifizieren sind. Ob dies der Fall ist, hängt insbesondere davon ab, ob im konkreten Fall eine unmittelbare Teilnahme an den Kampfhandlungen vorliegt.⁴⁶⁵ Außerhalb bewaffneter Konflikte ist eine Politik gezielter Tötungen kaum mit den einschlägigen menschenrechtlichen Gewährleistungen zu vereinbaren, die durchgängig Hinrichtungen ohne rechtskräftige Verurteilung verbieten.⁴⁶⁶ Ob man in diesem Zusammenhang auf den so genannten finalen Rettungsschuss verweisen kann, der einem Staat die Möglichkeit gibt, unter bestimmten Umständen Mitglieder von allgemein als terroristisch anerkannt Gruppen an der Ausübung eines Terroraktes zu hindern, ist zweifelhaft. Selbst wenn man von der Zulässigkeit des so genannten finalen Rettungsschusses ausgeht, sind die sehr hohen Voraussetzungen dafür zu beachten – sowohl in zeitlicher als auch in räumlicher Hinsicht.⁴⁶⁷ Grundsätzlich verändert sich die generelle völkerrechtliche Bewertung so genannter gezielter Tötungen nicht durch den Einsatz von UMS. Es ist in diesem Zusammenhang von Interesse, dass der Einsatz eines *Predator* in Jemen zur Tötung eines al-Qaeda-Anführers vom schwedischen Außenminister als “a summary execution that violates human rights”⁴⁶⁸ kritisiert wurde.

4.2.6 Der Status von Bedienungspersonal und Basisstation unbemannter Systeme

Neben den Überlegungen zu den Einsatzmodalitäten unbemannter Systeme im bewaffneten Konflikt stellt sich die Frage nach dem völkerrechtlichen Status von Bedienungspersonal und Basisstation unbemannter Systeme. Dabei geht es insbesondere um die Frage nach dem Kombattantenstatus des Bedienungspersonals und darum, ob und inwieweit eine Basisstation ein

⁴⁶⁴ Dies gilt jedenfalls für den gegenwärtig absehbaren Stand der technischen Entwicklung. Ob künftige Entwicklungen möglich sind, die darüber hinaus gehen, kann an dieser Stelle nicht beantwortet werden.

⁴⁶⁵ Fenrick, 2007.

⁴⁶⁶ Tomuschat, 2004.

⁴⁶⁷ Vgl. zu diesem Komplex auch Bausback, 2005; in Israel hat sich der Oberste Gerichtshof zu den so genannten gezielten Tötungen geäußert, s. dazu nur Keller/ Forowicz, 2008.

⁴⁶⁸ Crawley/Svitak, 2002.

militärisches Objekt darstellt, das seinerseits Gegenstand von Angriffen der gegnerischen Konfliktpartei sein kann.

Soweit das Bedienungspersonal den Streitkräften im Sinne von Artikel 43 Abs. 1 ZP I angehört, genießen diese Personen den Kombattantenstatus,⁴⁶⁹ „das heißt, sie sind berechtigt, unmittelbar an Feindseligkeiten teilzunehmen“ (Artikel 43 Abs. 2 ZP I). Sie sind also keine Zivilpersonen, sondern können ihrerseits auch angegriffen werden, müssen allerdings im Fall der Gefangennahme als Kriegsgefangene behandelt werden.

Handelt es sich beim Bedienungspersonal dagegen um Zivilpersonen, beispielsweise Bedienstete von Unternehmen, die sich generell mit der entsprechenden technologischen Infrastruktur befassen, so stellt sich die Frage nach deren Status.⁴⁷⁰ Artikel 50 Abs. 1 ZP I bestimmt allgemein: „Zivilperson ist jede Person, die keiner der in Artikel 4 Buchstabe A Absätze 1, 2, 3 und 6 des III. Abkommens und in Artikel 43 dieses Protokolls bezeichneten Kategorien angehört. Im Zweifelsfall gilt die betreffende Person als Zivilperson“. Allerdings wird dieser weitreichende Begriff der Zivilperson dadurch begrenzt, dass Artikel 51 Abs. 3 ZP I formuliert: „Zivilpersonen genießen den durch diesen Abschnitt gewährten Schutz, sofern und solange sie nicht unmittelbar an Feindseligkeiten teilnehmen“. Ganz entscheidend ist also für derartiges ziviles Personal die Frage, ob und inwieweit die Bedienung von unbemannten System als unmittelbare Teilnahme an den Feindseligkeiten zu qualifizieren ist. Hierüber besteht sowohl in der Rechtspraxis als auch in der Wissenschaft Streit.⁴⁷¹ Dabei lassen sich im Wesentlichen zwei „Denkschulen“ unterscheiden: Eine Auffassung geht davon aus, dass jede einzelne Handlung für sich genommen danach zu beurteilen ist, ob sie sich als unmittelbare Teilnahme an den Feindseligkeiten darstellt. Nach anderer Ansicht kommt es dagegen darauf an, ob das Verhalten einer Zivilperson generell als unmittelbare Teilnahme an den Feindseligkeiten zu qualifizieren ist; dies soll insbesondere dann der Fall sein, wenn die Zivilperson organisatorisch in die entsprechenden Geschehensabläufe der Streitkräfte integriert ist. Anfang 2008 hat eine Arbeitsgruppe des IKRK ihre Beratungen über das Problem der unmittelbaren Teilnahme an Feindseligkeiten abgeschlossen. Die Ergebnisse der Arbeiten sind noch nicht veröffentlicht. Allerdings zeichnet sich eine Tendenz zur zweitgenannten Auffassung ab.⁴⁷²

⁴⁶⁹ Zum Streitkräftebegriff Jean de Preux in: Sandoz, 1987, S. 509ff.; Bothe, 2005.

⁴⁷⁰ Zur menschenrechtlichen Einordnung vgl. nur Creutz, 2006.

⁴⁷¹ Schmitt, 2005a.

⁴⁷² Diese Informationen beruhen auf Gesprächen mit Mitgliedern der vom IKRK eingesetzten Kommission.

In der Folge dürfte das Bedienungspersonal dann jedenfalls den Status von Kombattanten erlangen, denn der Söldnerdefinition unterfallen Angehörige einschlägiger Unternehmen, die in den entsprechenden Streitkräfteablauf integriert sind, nicht.⁴⁷³

Der Status der Bodenstation als militärisches Ziel ist anhand von Artikel 52 Abs. 2 ZP I zu bestimmen. Dort heißt es: „Angriffe sind streng auf militärische Ziele zu beschränken. Soweit es sich um Objekte handelt, gelten als militärische Ziele nur solche Objekte, die auf Grund ihrer Beschaffenheit, ihres Standorts, ihrer Zweckbestimmung oder ihrer Verwendung wirksam zu militärischen Handlungen beitragen und deren gänzliche oder teilweise Zerstörung, deren Inbesitznahme oder Neutralisierung unter den in dem betreffenden Zeitpunkt gegebenen Umständen einen eindeutigen militärischen Vorteil darstellt“. Wenn man auf Beschaffenheit, Standort, Zweckbestimmung bzw. Verwendung abstellt und fragt, ob die Bodenstation von militärisch genutzten unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt wirksam zu militärischen Handlungen beiträgt, dann lässt sich dies wohl kaum bestreiten. Ebenso dürfte unstrittig sein, dass deren gänzliche oder teilweise Zerstörung, deren Inbesitznahme oder Neutralisierung jedenfalls im Zeitpunkt des Einsatzes von unbemannten Systemen sowie der unmittelbaren Einsatzvorbereitung („in dem betreffenden Zeitpunkt“) einen eindeutigen militärischen Vorteil darstellt. Komplikationen werden sich zumal beim Einsatz unbemannter Systeme allerdings zumeist daraus ergeben, dass die Bodenstation regelmäßig nicht im Konfliktgebiet oder in räumlicher Nähe dazu untergebracht sein dürfte. Vielmehr wird es häufig so sein, dass die Bodenstation räumlich weit entfernt liegt, gegebenenfalls im Hinterland (einschließlich des u.U. weit entfernten Heimatlands) der jeweiligen Konfliktpartei. Dann ist nach den sich aus dem humanitären Völkerrecht ergebenden Beschränkungen bei der Bekämpfung entsprechender militärischer Ziele zu fragen.⁴⁷⁴

Festzuhalten ist dabei zunächst, dass Angriffe im Hinterland der gegnerischen Konfliktpartei grundsätzlich nicht verboten sind. Zum zweiten ist der Angreifer verpflichtet, Vorsichtsmaßnahmen nach Artikel 57 ZP I zu treffen. Befindet sich die Bodenstation etwa in der Nähe ziviler Objekte, so hat der Angreifer „alle praktisch möglichen Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um Verluste unter der Zivilbevölkerung, die Verwundung von Zivilpersonen und die Beschädigung ziviler Objekte, die dadurch verursacht werden könnten, zu vermeiden und in jedem Fall auf ein Mindestmaß zu beschränken“ (Artikel 57 Abs. 2 lit. a ii) ZP I). Ist damit zu rechnen, dass der Angriff „auch Verluste unter der Zivilbevölkerung, die Verwundung von Zivilpersonen, die Beschädigung ziviler Objekte oder mehrere derartige Folgen zusammen

⁴⁷³ Zur Abgrenzung vgl. Botha, 1999; Frye, 2005.

⁴⁷⁴ Hier ist dann insbesondere der Verhältnismäßigkeitsgrundsatz zu beachten; vgl. dazu Gasser, 2007, S. 27, 85, 150f.; im Einzelnen vgl. auch Stefan Oeter in: Fleck, 2008, Rn. 456.

verursacht, die in keinem Verhältnis zum erwarteten konkreten und unmittelbaren militärischen Vorteil stehen“ (Artikel 57 Abs. 2 lit. a iii) ZP I), so muss die Konfliktpartei von diesem Angriff sogar Abstand nehmen. Ausdrücklich stellt Artikel 57 Abs. 4 ZP I klar: „Bei Kriegshandlungen auf See oder in der Luft hat jede am Konflikt beteiligte Partei im Einklang mit den Rechten und Pflichten, die sich aus den Regeln des in bewaffneten Konflikten anwendbaren Völkerrechts für sie ergeben, alle angemessenen Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um Verluste unter der Zivilbevölkerung und die Beschädigung ziviler Objekte zu vermeiden“. Das humanitäre Völkerrecht enthält allerdings nicht nur Verpflichtungen des Angreifers. Vielmehr muss der Betreiber der Bodenstation seinen Verpflichtungen nach Artikel 58 ZP I nachkommen, insbesondere muss er „es vermeiden, innerhalb oder in der Nähe dicht bevölkerter Gebiete militärische Ziele anzulegen“ (Artikel 58 lit. b ZP I).⁴⁷⁵ Es dürfte vor diesem Hintergrund nicht zulässig sein, die Bodenstation für den Betrieb unbemannter Systeme außerhalb militärischer Anlagen anzulegen.⁴⁷⁶

4.2.7 Durchsetzung der einschlägigen Rechtsnormen des humanitären Völkerrechts

Es ist im Hinblick auf den Einsatz von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt abschließend darauf hinzuweisen, dass die genannten Bestimmungen des humanitären Völkerrechts von den Streitkräften zu beachten sind und deren Einhaltung zwangsweise durchgesetzt werden kann. Abgesehen davon, dass das innerstaatliche Recht bei Verstößen sowohl disziplinarische als auch gegebenenfalls strafrechtliche Sanktionen vorsieht, ist zu berücksichtigen, dass bestimmte schwere Verstöße heute auch Gegenstand von Verfahren vor dem Internationalen Strafgerichtshof sein können.

Zunächst ist festzuhalten, dass völkerrechtliche Verstöße, die Verbrechen darstellen, zwar unmittelbar durch das Völkerrecht strafbewehrt sind, jedoch stellt die Ahndung dieser Verbrechen auf völkerrechtlicher Ebene nicht den Normalfall dar. Die Zuständigkeit des Internationalen Strafgerichtshofs ist nur nachrangig gegenüber nationalen Strafverfolgungsbehörden. Demnach sind einzelne Staaten in erster Linie für die Verfolgung von Straftaten verantwortlich.⁴⁷⁷ Hierbei sind völkerrechtliche Vorgaben zu beachten. Völkerrechtliche Strafverfolgungspflichten ergeben sich zwar nicht aus dem Römischen Statut des Internationalen

⁴⁷⁵ Gross, 2002.

⁴⁷⁶ Hierzu und zu Fragen der Auswirkungen auf die Kommandogewalt vgl. Dawkins, 2005, S. 28 ff.

⁴⁷⁷ Eser/Sieber/Kreicker, 2003, S. 7 ff.

Strafgerichtshofs,⁴⁷⁸ jedoch sind solche Pflichten in den Genfer Abkommen⁴⁷⁹ und im ersten Zusatzprotokoll⁴⁸⁰ enthalten. Die bisher genannten Bestimmungen des humanitären Völkerrechts führen bei Nichteinhaltung zu strafrechtlichen Sanktionen und können sogar Gegenstand von Verfahren vor dem Internationalen Strafgerichtshof werden. Die Übersicht in Tabellen 4-4 und 4-5 soll die einschlägigen Normen, welche die Nichteinhaltung der Bestimmungen sanktionieren, im Vergleich darstellen.

Tabelle 4-4 Kriegsverbrechen gegen Personen oder Güter, die durch die Genfer Abkommen von 1949 geschützt sind (nur solche, die durch den Einsatz von UMS in Betracht kommen)⁴⁸¹

Völkerrechtlich anerkannte Kriegsverbrechen in internationalen bewaffneten Konflikten	Straftatbestände im deutschen Recht
Art. 8(2)(a)(i) IStGH-Statut: Vorsätzliche Tötung	§ 8 Abs. 1 Nr.1 VStGB
Art. 8(2)(a)(iii) IStGH-Statut: Verursachung großer Leiden, schwere Körperverletzung	§ 8 Abs. 1 Nr. 3 VStGB
Art. 8(2)(a)(iii) IStGH-Statut: Zerstörung und Aneignung von Eigentum	§ 9 Abs. 1 VStGB

Tabelle 4-5 Sonstige Kriegsverbrechen

Völkerrechtlich anerkannte Kriegsverbrechen in internationalen bewaffneten Konflikten	Straftatbestände im deutschen Recht
Art. 8(2)(b)(i) IStGH-Statut: Angriffe auf die Zivilbevölkerung	§ 11 Abs.1 Nr. 1 VStGB
Art. 8(2)(b)(ii) IStGH-Statut: Angriff auf zivile Objekte	§ 11 Abs.1 Nr. 2 VStGB
Art. 8(2)(b)(iv) IStGH-Statut: Angriff in Kenntnis unverhältnismäßig schwerer Verluste oder Schäden	§ 11 Abs.1 Nr. 3 VStGB
Art. 8(2)(b)(vi) IStGH-Statut: Tötung oder Verwundung eines außer Gefecht gesetzten Kombattanten, der sich ergeben hat	§ 8 Abs.1 Nr. 1 VStGB (Tötung) § 8 Abs.2 VStGB (Verwundung)
Art. 85(2)(e) ZP I: Tötung oder Verwundung eines die Waffen streckenden oder wehrlosen gegnerischen Kombattanten, der sich noch nicht ergeben hat	§ 8 Abs.1 Nr. 1 VStGB (Tötung) § 8 Abs.2 VStGB (Verwundung)
Art. 8(2)(b)(xiii) IStGH-Statut: Zerstörung oder Beschlagnahme feindlichen Eigentums	§ 9 Abs. 1 VStGB

⁴⁷⁸ Vgl. Kreicker, 2002, S. 284.

⁴⁷⁹ Art. 49 GA I, Art. 50 GA II, Art. 129 GA III und Art. 146 GA IV.

⁴⁸⁰ Art. 85 ZP I.

⁴⁸¹ Für Taten gegen Personen, die nicht unmittelbar an den Kampfhandlungen teilnehmen, gelten dieselben nationalen Vorschriften, und ansonsten gelten ausdrückliche Normen.

Darüber hinaus ist zu beachten, dass der Staat, dessen Angehörige beim Einsatz von unbemannten Systemen gegen die einschlägigen Regeln des Rechts im bewaffneten Konflikt verstoßen, seinerseits für diese Verstöße völkerrechtlich verantwortlich ist.⁴⁸²

4.2.8 Reformbedarf und aktuelle Vorschläge für neue Luftkriegsregeln

Da sich das ZP I von 1977 im Wesentlichen auf die Landkriegssituation beschränkt, auch wenn – wie oben dargelegt – vereinzelt Bestimmungen ausdrücklich auf den Luft- und den Seekrieg Bezug nehmen, sind in der Vergangenheit zunächst bestehende Seekriegsregeln über das San Remo Manual⁴⁸³ quasi kodifiziert und teilweise durch neue Regeln ergänzt worden. Gegenwärtig werden neue Luftkriegsregeln in einem ähnlichen Verfahren ausgearbeitet. Die Ergebnisse sollen noch im Laufe dieses Jahres vorliegen.⁴⁸⁴

Unabhängig davon stellt sich die Frage, ob bezüglich des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt weiterer Regelungsbedarf besteht. Dies dürfte wohl nur dann zu bejahen sein, wenn sich spezifische Gefährdungen insbesondere im Rahmen von Aufklärungsmaßnahmen identifizieren lassen, die sich mit Hilfe des vorhandenen Instrumentariums nicht befriedigend bewältigen lassen. Allein aus der Tatsache, dass unbemannte Systeme als solche nicht ausdrücklich von den einschlägigen Verträgen erfasst werden, sondern sich nur im Wege der Interpretation zuordnen lassen, folgt noch nicht, dass auch Bedarf an einer Neuregelung besteht. Sollte man allerdings zu der Auffassung gelangen, dass unbemannte Systeme ihrerseits Gegenstand eines noch zu vereinbarenden Rüstungskontrollinstruments werden sollen, dann wäre es angezeigt, auch deren Einsatz im bewaffneten Konflikt in diesem Zusammenhang näher zu regeln. Die Verzahnung von humanitärem Völkerrecht und Rüstungskontrollrecht im Sinne eines übergreifenden (gleichwohl sektorspezifischen) Friedenssicherungsrechts ist schon in der jüngeren Vergangenheit wiederholt praktiziert worden⁴⁸⁵ und auch methodisch nicht zu beanstanden.

Im Einzelnen lassen sich auf der Grundlage der bisherigen Ausführungen zum humanitären Völkerrecht allerdings folgende Schlussfolgerungen und Empfehlungen festhalten:

- Sollten die deutschen Streitkräfte den regelmäßigen Einsatz von insbesondere bewaffneten UMS in Erwägung ziehen, halten wir eine ordnungsgemäße Prüfung auf der Grundlage von Artikel 36 ZP I für unabdingbar. Vor dem Hintergrund, dass offensichtlich Erprobungen stattfinden und über Einsatzszenarien nachgedacht wird, aber auch in Anbetracht der Tatsa

⁴⁸² Vgl. dazu nur Sassoli, 2002.

⁴⁸³ Heintschel von Heinegg, 2006.

⁴⁸⁴ Vgl. auch Ronzitti, 2006, S. 15.

⁴⁸⁵ Vgl. dazu nur Kalbusch, 2003.

che, dass sich die deutschen Streitkräfte in Bündnissituationen und ähnlichen Konstellationen an Einsätzen beteiligen, in deren Rahmen verbündete Streitkräfte UMS einsetzen, sollte eine umfassende Prüfung der Kompatibilität des Einsatzes von UMS mit dem geltenden humanitären Völkerrecht unverzüglich stattfinden.

- In Anbetracht der Tatsache, dass das geltende humanitäre Völkerrecht in der Tat Bedeutung für den Einsatz von UMS im bewaffneten Konflikt entfaltet, die Konkretisierung der einschlägigen Regeln und Prinzipien allerdings durchaus komplex ist, empfehlen wir eine explizite völkerrechtliche Normierung. Eine entsprechende Regelung würde den Normadressaten mehr Klarheit hinsichtlich der Verpflichtungen geben, denen sie beim Einsatz von UMS unterworfen sind. Da eine Änderung der Zusatzprotokolle und anderer Verträge gegenwärtig nicht möglich erscheint und deshalb auch nicht empfohlen wird, ist an ein dem San Remo Manual für die Seekriegführung vergleichbares Regelwerk zu denken. Hier sollten dann allerdings nicht nur allgemeine Feststellungen darüber getroffen werden, dass der Einsatz von UMS den Bestimmungen des humanitären Völkerrechts unterworfen ist. Vielmehr lassen sich normative Kerngehalte ausmachen, die im Folgenden benannt werden:
- Ausdrücklich sollte klargestellt werden, dass UMS beim Einsatz mit Nationalitätskennzeichen zu versehen sind.
- Des Weiteren sind beim Einsatz von UMS für Aufklärungszwecke spezifische Vorsichtsmaßnahmen im Hinblick auf mögliches technisches Versagen zu treffen, um Verstöße gegen das Unterscheidungsgebot zu vermeiden. Dabei ist für den Fall technischen Versagens an den verpflichtenden Einbau von Selbstzerstörungsmechanismen zu denken.
- Werden UMS mit Waffen bestückt und als Kampfmittel eingesetzt, so sollten spezifische Anforderungen in Bezug auf die Eingriffsmöglichkeiten des Steuerers rechtlich verankert werden. Falls derartige Interventionsmöglichkeiten versagen, sollte ein Selbstzerstörungsmechanismus verpflichtend vorgesehen werden.
- Im Hinblick auf die Rechtsstellung der Bodenstation und des Steuerers sollte ausdrücklich festgehalten werden, dass diese von zivilen Objekten unterscheidbar sein müssen und die Bodenstation sich nicht in der Nähe ziviler Objekte befinden darf.
- Schließlich ist zu erwägen, den Einsatz vollständig autonomer Systeme, bei denen es keine Interventionsmöglichkeiten des Steuerers gibt, zu verbieten. Ob und inwieweit detaillierte Differenzierungen an dieser Stelle erforderlich sind, kann im Rahmen dieses Gutachtens nicht umfassend beantwortet werden. Jedenfalls verlangen die Zielauswahl und die Letztentscheidung über den Einsatz immer auch wertende Entscheidungen, zu denen vollständig autonome Systeme nicht in der Lage sind.

4.3 Sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Folgen einer breiten Einführung von UMS unter Berücksichtigung präventiver Rüstungskontrolle

Präventive Rüstungskontrolle (PRK) will noch nicht bestehende, aber infolge rüstungstechnologischer Innovation in absehbarer Zukunft mögliche, militärische und anderweitig gefahreninduzierende Konsequenzen durch die Steuerung, möglicherweise auch Blockierung, bestimmter Entwicklungsstränge frühzeitig verhindern oder bereits stattgefunden Stationierungen qualitativ begrenzen.⁴⁸⁶ Das Konzept der präventiven Rüstungskontrolle, das im Wesentlichen auf der Idee einer umfassenden Rüstungstechnologiefolgenabschätzung beruht, wurde in den in den 1990er Jahren in einigen grundlegenden Abhandlungen entwickelt und vertieft.⁴⁸⁷ Dies soll durch die frühzeitige Beurteilung von militärrelevanter FuE und potenziellen militärischen Anwendungen ermöglicht werden. PRK benötigt nicht nur ein erweitertes Verständnis von Rüstungskontrolle, sondern auch des FuE-Prozesses von neuen Waffensystemen und militärrelevanten Technologien.⁴⁸⁸ Ein statisches Technikfolgenabschätzungsverfahren für Rüstungstechnologien existiert nicht. Dafür wurden im Rahmen eines Projektverbundes aber Kriterien formuliert, die nicht nur die Rüstungsrelevanz neuer Technologien überprüfen sollen, sondern auch ihre Folgen und Wirkung bei Einführung der entsprechenden Technologie bzw. des Waffensystems.⁴⁸⁹ Zunächst werden die Kriterien kurz erläutert (Abschnitt 4.3.1), dann wird eine erste Bewertung der in der Studie identifizierten unbemannten Systeme vorgenommen; Abschnitt 4.3.2 betrachtet Stabilitätsgesichtspunkte, Abschnitt 4.3.3 untersucht Anwendungen von UMS durch substaatliche Akteure.

4.3.1 Kriterien der präventiven Rüstungskontrolle und UMS

Allgemein formulierte Kriterien wurden ausgewählt, um im Rahmen einer Rüstungstechnologiefolgenabschätzung (RTFA) besser beurteilen zu können, inwieweit und in welchen Bereichen neue Rüstungstechnologien destabilisierend wirken oder andere Gefahren mit sich bringen können. Dabei wurden drei allgemeine Gruppen ausgewählt, die nicht nur die militärische, sondern auch die gesellschaftliche Dimension mit einbeziehen. Gruppe I orientiert sich

⁴⁸⁶ Siehe Petermann/Socher/Wennrich, 1997.

⁴⁸⁷ Siehe dazu Brauch/van der Graaf/Grin/Smit, 1997, und Neuneck/Mutz, 2000.

⁴⁸⁸ Für einzelne Technologien wurden in der Vergangenheit Studien zur Raketenabwehr, Weltraumtechnologien und konventionelle Waffensysteme angefertigt. Darüber hinaus wurden Forschungsbereiche wie die Mikrosystemtechnik und die Nanotechnologie analysiert, siehe z.B. Altmann, 2006.

⁴⁸⁹ Der Projektverbund, bestehend aus Arbeitsgruppen der Universitäten Hamburg, Dortmund und der TU Darmstadt, untersuchte Methoden, Kriterien und Konzepte für präventive Rüstungskontrolle und führte Fallstudien für den Bereich Mikrosystemtechnik, Raketenabwehr, Biowaffen und Proliferation bei Nukleartechnologien durch. Siehe Dossier 38, Wissenschaft und Frieden, Juli 2001.

am Erhalt und Ausbau internationaler Völkerrechtsnormen und Rüstungskontrollbemühungen. Zentral ist hier auch die besondere Ächtung von Massenvernichtungswaffen. Wichtig ist hier zu klären, ob die Einführung von UMS dem existierenden Rüstungskontrollrecht oder dem humanitären Völkerrecht widerspricht bzw. zu deren Erosion beiträgt. Eine genaue Analyse wurde bereits in den Abschnitten 4.1 und 4.2 vorgenommen. Unbemannte Fahrzeuge sind implizit von den Kategorien des KSE- und des INF-Vertrages erfasst, soweit es sich nicht um Neuentwicklungen handelt, die Parameter wie Gewicht oder Kaliber von Hauptwaffensystemen unterlaufen. Die Suspendierung dieser Verträge, die insbesondere für Europa große sicherheitspolitische Bedeutung haben, könnte allerdings die letzte Rüstungskontrollbarriere beseitigen und zu einer verstärkten Einführung von bewaffneten UMS führen. Im Wesentlichen sind es politische, nicht technologische Gründe, die zur Entwertung der Rüstungskontrolle beitragen. Beim Kriegsvölkerrecht ist es vor allem das Unterscheidungsgebot, dessen Einhaltung bei bewaffneten UMS, die autonom unter komplexer Entscheidungsfindung ihre Ziele suchen sollen, nicht gewährleistet wäre. Aber auch schon bei ferngesteuerten, bewaffneten UMS steht die Einhaltung in Frage.

Gruppe II reflektiert die Bemühungen um militärische Stabilität und Kriegsverhütung. Hier steht die Vermeidung von Rüstungswettläufen genauso im Mittelpunkt wie die Vermeidung weiterer Proliferation und die Stabilität in einer militärischen Krise. Die Analyse erfolgt im Abschnitt 4.3.2. In Gruppe III wurde versucht, Aspekte nachhaltiger und politischer Entwicklung aufzunehmen. Dies geschieht gerade aus dem Wunsch, auch längerfristige Technologie-Entwicklungen abzubilden und wird unter 4.3.3 behandelt. Das Hauptproblem ist hier die terroristische Nutzung.

Zu beachten ist neben der allgemeinen Natur der Kriterien auch die Möglichkeit, dass diese sich überlappen, widersprechen oder gegenseitig beeinflussen können.

Folgende Kriterien wurden identifiziert:

I. Erhalt/Weiterentwicklung effektiver Rüstungskontrolle, Abrüstung und Völkerrecht

- Keine Verletzung bestehender oder beabsichtigter Rüstungskontroll- und Abrüstungsverträge
- Einhaltung bestehender Völkerrechtsnormen
- Keine Nutzbarkeit für Massenvernichtungswaffen

II. Erhalt und Förderung der Stabilität

- Vermeidung destabilisierender/negativer Effekte hinsichtlich internationaler Sicherheit infolge qualitativer Aufrüstung
- Vermeidung horizontaler oder vertikaler Proliferation/Diffusion von rüstungsrelevanten Technologien, Materialien oder von Wissen
- Vermeidung von Instabilitäten in einer Krise

III. Gefahrenvermeidung für nachhaltige Entwicklung

- Gefahrenvermeidung für Mensch und Umwelt
- Gefahrenvermeidung für die Entwicklung gesellschaftlicher und politischer Systeme
- Gefahrenvermeidung für die gesellschaftliche Infrastruktur

4.3.2 Bewertung der verschiedenen UMS-Anwendungen unter Stabilitäts- gesichtspunkten

Zur Beurteilung von UMS unter der Kriteriengruppe II werden zunächst Erfahrungen aus Kampfeinsätzen von UAV der USA dargestellt, dann wird ein allgemeinerer Blick auf Kriege mit breiter Nutzung von UMS geworfen.

4.3.2.1 Erfahrungen aus militärischen Einsätzen von UAV

Am meisten ausgeprägt sind die militärischen Erfahrungen beim Einsatz von UAVs und Marschflugkörpern in den Kriegen und anderen Operationen der US-Streitkräfte seit 1991. Während UAVs im Golfkrieg 1991 kaum beachtet wurden, setzten in Bosnien und mehr noch im Kosovo-Konflikt 1998 („Operation Allied Force“) drei US-Teilstreitkräfte UAVs (Predator, Hunter, Pioneer) zur ISR-Zwecken, d.h. zur Aufklärung, Ziellokalisierung und Abschätzung der erzeugten Schäden, ein. Der Predator wurde dann auch in Afghanistan und Pakistan eingesetzt und wird seitdem auch großflächig für offensive Operationen im Irak verwendet.⁴⁹⁰ Bewaffnete UAVs (UCAVs) könnten in Zukunft zunehmend Missionen von Marschflugkörpern übernehmen. Unbemannte Bodenfahrzeuge oder Wasserfahrzeuge spielen hingegen bis jetzt nur eine untergeordnete Rolle.

Unbewaffnete UMS

Eine umfassende Integration insbesondere von UAVs findet vor allem in den US-Streitkräften seit den Einsätzen in Afghanistan, Irak und Pakistan statt. Die UAVs dienen dabei bisher primär der nachrichtendienstlichen Aufklärung und Verfolgung von Truppenbewegungen. Während auf der Divisionsebene und im Orts- und Nahbereich mit Drohnensystemen Prob

leme auftraten, funktionierte die Aufklärung auf der Bataillonsebene recht gut. Seitdem fordert das Militär eine breitere Palette von UAVs sowie das Zur-Verfügung-Stellen der Aufklärungsdaten für alle Führungsebenen. Auch bei den Marine-Operationen gab es im Irakkrieg 2003 Probleme. Andere Streitkräfte verfügen hier weder über ausgedehnte Einsatzerfahrungen noch über die fortschreitende Integration verschiedenster UAV-Arten. Rüstungskontrollverträge stehen dieser Einführung in den besagten Einsatzgebieten nicht entgegen. Lediglich der völkerrechtswidrige Einsatz im Rahmen einer fehlenden Legitimation durch den UN-Sicherheitsrat könnte hier als begrenzend angesehen werden (siehe Abschnitt 4.2.3), wenn Aufklärungssysteme Daten für bewaffnete UMS oder andere Waffen liefern. Sicher beeinflussen die Möglichkeiten verbesserter Aufklärung die Kriegsführung und könnten sowohl in einer Krise weitergehende Eskalationen auslösen oder einen Angreifer bevorzugen. In der aktuellen Auseinandersetzung zwischen Russland und Georgien behauptete die georgische Regierung, sie habe eine russische Aufklärungsdrohne abgeschossen. Russland verwies darauf, dass Drohnen nach dem Regionalabkommen von 1994 in dem Regionalkonflikt nicht eingesetzt werden dürfen, bestreitet aber den Abschuss durch ein russisches Kampfflugzeug. Allgemein wird Aufklärung in Konflikten als eher stabilisierend angesehen. Werden unbemannte Aufklärungsplattformen aber mit bewaffneten Systemen gekoppelt, kann dies auch destabilisierende Effekte haben. Stabilisierend sind Aufklärungs-UAVs, wenn sie aufgrund eines Stabilisierungsabkommens (UN, Waffenstillstandabkommen, Verifikation etc.) Einblick in den zu überwachenden Teil ermöglichen. Eskalierend, wenn in einer Krisenlage, UAVs eingesetzt und vom Opponenten entdeckt und abgeschossen werden. Unbemannte Aufklärungssysteme, die große Nutzlasten tragen können, können aber zu bewaffneten Systemen umgebaut werden.

Bewaffnete UMS

Eine signifikante Zunahme des UAV-Einsatzes durch die Vereinigten Staaten in Afghanistan und Irak ist seit der Invasion des Irak im Jahre 2003 zu verzeichnen. UAVs dienen dabei bisher vor allem der nachrichtendienstlichen Aufklärung und Verfolgung von Truppenbewegungen, aber erste mit Waffen bestückte UAVs (Predator-B) wurden seit 2001/2002 ferngesteuert eingesetzt, um potenzielle Gegner aufzuspüren und sie aus der Luft zu bekämpfen. Vorwiegend im Irak haben UAVs zu Beobachtungs- und Verfolgungszwecken bisher über 500.000 Flugstunden absolviert.⁴⁹¹ Die Zahl der UAVs im Irak stieg von unter hundert auf

⁴⁹⁰ Miles, 2004.

⁴⁹¹ AP, 2008, auch für die folgenden Zahlen in diesem Absatz.

über 400 (Ende 2004) an, mit dem größten Zuwachs bei kleinen Typen.⁴⁹² Der Raven (Spannweite 1,3 m) ist mit bis zu 250 Systemen das am meisten verwendete UAV und gewährleistet Echtzeit- sowie „Über-den-Horizont-Aufklärung“. Zwischen Januar und Oktober 2007 hat die US Air Force ihren monatlichen Einsatz von Drohnen mehr als verdoppelt. Der gesamte Einsatz von US-UAVs (der Raven mit bis zu 300.000 Flugstunden nicht eingerechnet) stieg von 165.000 Flugstunden im FY 2006 auf 258.000 Flugstunden im FY 2007 an. Die Anzahl der Flugstunden des Predators im Irak stieg 2007 von 2.000 Std. im Januar auf über 4.300 Std. im Oktober 2007. Die Anzahl der Kampf-Patrouillen stieg von 14 auf 18 pro Tag. Das Nachfolgemodell des Predator, der MQ-9 Reaper, ist ebenfalls bereits im Einsatz. Er ist größer, schwerer bewaffnet, hat eine mehr als dreifache Reichweite und kann fast zweimal so hoch fliegen. Neben seinen Aufklärungs-Kapazitäten wurde der Reaper speziell für den Angriff auf zeitkritische Ziele mit Präzisionswaffen konstruiert.⁴⁹³ Er kann mit bis zu vier Hellfire-Missiles und zwei GBU-12 lasergelenkten Bomben operieren.⁴⁹⁴ Seit Oktober 2007 ist er auch in Afghanistan im Einsatz, mit durchschnittlich einem Einsatz pro Tag. Auch die US Navy⁴⁹⁵ und die britische Armee⁴⁹⁶ haben UAV im Einsatz.

Ein direkter Vergleich von Flugstunden bemannter und unbemannter Luftfahrzeuge ist nach offiziellen Aussagen schwierig und liegt bis dato nicht vor. Eine Erklärung für die Zunahme von UAVs ist, dass die Kriegsführung im Irak stark durch die Aufklärung und Verfolgung von Aufständischen in einem sehr feindlichen Umfeld geprägt ist.⁴⁹⁷ Der Betrieb eines Predators kostet dabei ein Viertel von dem, was eine F-16 kostet⁴⁹⁸ und er kann dabei bis zu zehnmal länger in der Luft bleiben.⁴⁹⁹ Es ist aber auch festzustellen, dass die Gegner sich auf die neue Bedrohung aus der Luft einstellen konnten, indem sie öfter Fahrzeuge wechselten oder in unzugängliches Gelände auswichen. Auch löst der verstärkte Einsatz von UAVs nicht alle Probleme des US-Militärs. Für Luftkämpfe, hochdynamische Umgebungen und für Betan-

⁴⁹² Miles, 2004.

⁴⁹³ Air Force, 2007.

⁴⁹⁴ Aviation Week, 2007.

⁴⁹⁵ ScanEagle, kann auf Schiff starten und landen, Navy, 2007.

⁴⁹⁶ HERTI und Hermes-450, Aviation Week, 2007.

⁴⁹⁷ Ebenda, "I think it has to do with the type of warfare we're engaged in – it's heavy into intelligence, surveillance and reconnaissance ... This war requires a lot of hunting high-value targets." US Air Force Lt. Col. Larry Gurgainous (Deputy Director of the Air Force Unmanned Aircraft Task Force), siehe AP, 2008. "Ein UAV mit Angriffsfähigkeit kann sehr früh in diesem Zyklus (von Feindaktivität) eingreifen ... und in vielen Fällen die Bedrohung vollständig ausschalten." (Deputy Director of UAV Planning Task Force, Dyke Weatherington, s. Miles, 2004).

⁴⁹⁸ Weatherington, s. Miles, 2004.

⁴⁹⁹ Bedingt durch die Zunahme von UAVs werden vermehrt Piloten aus dem Cockpit in UAV-Operationsbasen (wie in Nellis Air Force Base, Nevada) eingesetzt. Auch werden weitere Operationsbasen eingerichtet.

kungs- sowie Luftbrücken-Operationen sind bemannte Flugzeuge nach wie vor besser geeignet.⁵⁰⁰

Rüstungskontrollverträge stehen heute der Einführung bewaffneter, unbemannter Plattformen insbesondere in den heutigen Einsatzgebieten nicht entgegen. Lediglich der völkerrechtswidrige Einsatz könnte hier als begrenzend angesehen werden (siehe Abschnitt 4.2.7). Beginnen Kampfhandlungen mit dem Einsatz von UMS, so kann dies je nach Konfliktlage, Truppeneinstellung und militärischen Zielen in einer Krise als destabilisierend und eskalierend wirken.

4.3.2.2 Überlegungen zu bewaffneten Konflikten mit breiter UMS-Nutzung

Es ist offensichtlich, dass bewaffnete UAV für den jeweiligen Gegner eine direkte Bedrohung darstellen, für unbewaffnete UAV gilt das in indirekter Weise, da durch die Erkundung von Zielen wie z.B. Abschussbasen für gegnerische Waffen (Flugzeuge, UAVs, Marschflugkörper, Raketen etc.) auch Waffeneinsätze der eigenen Waffenplattformen geplant werden können. Nach einem Blick auf Marschflugkörper und auf das US-Konzept des Prompt Global Strike werden im Folgenden drei Fälle unterschieden: die Bedrohung durch einen etwa ebenbürtigen militärischen Gegner, die Bedrohung durch einen unterlegenen militärischen Gegner und die asymmetrische Bedrohung durch substaatliche Gruppen. Mögliche Bedrohungen durch UGV oder UUV/USV sind technologisch noch weit von einem signifikanten militärischen Einsatz entfernt und werden daher hier nicht diskutiert.

Auch in den nächsten zwei Jahrzehnten werden UAV die dominierende Form von UMS bilden, insbesondere bewaffnete UAV werden sich wahrscheinlich – wenn sie nicht durch eine internationale Anstrengung beschränkt werden – erheblich weiter verbreiten. Schon vorhanden sind Marschflugkörper, also UAV im weiteren Sinn.

Marschflugkörper: Präzisionsschläge gegen strategische Ziele

Insbesondere Marschflugkörper haben sich seit ihrem ersten Einsätzen im Zweiten Weltkrieg (Fi-103, V-1) technologisch aufgrund der Fortschritte bei luftatmenden Triebwerken, Flugsteuerung, Navigation und Zielführung erheblich weiterentwickelt. Die dadurch möglich gewordene Programmierung bestimmter Flugprofile und eine hohe Zielgenauigkeit erlauben damit Präzisionsschläge mit konventioneller Munition bei einer Genauigkeit von wenigen Metern. Marschflugkörper haben modulare Nutzlasten von 200-500 kg und können Entfernungen von 150 – 3.000 km zurücklegen. Sie können Massenvernichtungswaffen tragen. Da sie auch von Flugzeugen, Schiffen und U-Booten verschossen werden können, sind sie im

⁵⁰⁰ Miles, 2004.

Prinzip global einsetzbar. Verglichen mit ballistischen Raketen oder Flugzeugen sind sie kostensparender. Aufgrund ihres flachen Flugprofils von einigen zehn Metern über der Erdoberfläche sind sie schwer zu entdecken, und ihre Radar- bzw. Wärmesignatur ist recht gering. Wegen ihrer langsamen Fluggeschwindigkeit sind Marschflugkörper durch die Luftabwehr „abschießbar“, allerdings aufgrund ihres Tieffluges schwer zu detektieren. Insbesondere die USA haben strategische Marschflugkörper in verstärkten Stückzahlen im Irak-Krieg 1991 (Desert Storm; 332 Stück),⁵⁰¹ bei der viertägigen Bombardierung irakischer Ziele 1998 (Desert Fox: über 415 Stück)⁵⁰² und dem Irak-Krieg 2003 (Iraqi Freedom: 955 Stück)⁵⁰³ eingesetzt. Marschflugkörper wurden insbesondere vor Beginn der eigentlichen Kampfhandlungen gegen gut verteidigte strategische Ziele wie Kommando- und Kommunikationseinrichtungen, Luftverteidigung oder Herstellungsstätten für Massenvernichtungswaffen eingesetzt und führten zu einer Lähmung des gegnerischen Abwehr- und Verteidigungspotenzials.

Nur die USA und Russland verfügen über strategische Marschflugkörper großer Reichweite über 1.000 km. Aber auch Staaten wie China, Israel, Indien oder Pakistan arbeiten an Marschflugkörpern größerer Reichweite. Gemeinschaftsprojekte bestehen z.B. zwischen Russland und Indien oder Pakistan und China. Staaten, die über eine ausgeprägte Luftfahrtindustrie verfügen, sind in der Lage, vorhandene Marschflugkörper zu importieren, umzubauen oder Eigenentwicklungen zu beginnen. Insbesondere see- und landgestützte Antischiffsflugkörper ASCM (Anti-ship Cruise Missiles) sind frei importierbar. Diese Waffenkategorie ist nicht vom MTCR erfasst und wird von diversen Staaten nachgebaut bzw. exportiert.⁵⁰⁴

UAVs im US-Konzept des Prompt Global Strike

Der sog. „Prompt Global Strike“ wurde 2001 vom damaligen Verteidigungsminister Rumsfeld konzipiert. Ziel ist es, innerhalb von Minuten bis wenigen Stunden nahezu jedes Ziel auf dem Globus mittels konventionell bestückter Trägersysteme und Präzisionswaffen zerstören zu können.⁵⁰⁵ Als mögliche Angriffsziele gelten Produktionsanlagen für Massenvernichtungswaffen, Raketenbasen, Führungseinrichtungen oder Ausbildungslager von Terroristen. Dafür vorgesehene Waffenplattformen sind sowohl vor Ort stationierte Flugzeuge, Marschflugkörper oder UAVs, aber auch ballistische Raketen mit großer Reichweite, die von U-Booten oder US-Territorium selbst verschossen werden. Das Konzept ist kompatibel mit der National

⁵⁰¹ Operation, 1997.

⁵⁰² Kozaryn, 1998.

⁵⁰³ Moseley, 2003.

⁵⁰⁴ Eine Studie kam zu dem Ergebnis, dass ca. 70 Staaten see- und landgestützte ASCMs besitzen und 20 Staaten Marschflugkörper durch Flugzeuge verschießen können. Mahnken, 2005.

⁵⁰⁵ Siehe dazu Kamp, 2006.

Security Strategy von 2006, die die Präemptions- bzw. Präventionsstrategie der Bush-Administration betont.⁵⁰⁶

Tabelle 4-6 UAV-Trägersysteme im Rahmen der Diskussion um Prompt Global Strike

System	Typ	Reichweite	Geschwindigkeit	Nutzlast	Status
Predator B	UAV	930 km	130 – 220 km/h	204 kg	im Einsatz
Hunter	UCAV	270 km	130 – 200 km/h	127 kg	im Einsatz
Reaper	UCAV	3.060 km	220 – 420 km/h	340 kg (intern) 1.360 kg (extern)	im Einsatz
UCAS-D	UCAV	2.960 km	850 km/h	2.040 kg	geplant für 2010
FALCON ⁵⁰⁷	HCV/SLV	16.700 km	Mach 6 (7.300 km/h)	5.440 kg	Studie

Quellen: Department of Defense, 2007, und <http://www.darpa.mil> (20. 5. 2008).

Im “Quadrennial Defense Review Report 2001” des Pentagon werden militärische Fähigkeiten wie „manned and unmanned long-range precision strike assets, related initiatives for new small munitions, and the ability to defeat hard and deeply buried targets” gefordert.⁵⁰⁸ Der “Quadrennial Defense Review Report 2006“ gibt als Frist für die Entwicklung von „long-range capabilities“ ca. 20 Jahre vor.⁵⁰⁹ Hierzu gehören nach Meinung der US-Regierung u.a. schnelle/ständige Einsatzverfügbarkeit, zeitkritische Einsätze, d.h. kurze Reaktions- und Ausführungsdauer, Einsatz gegen mobile Ziele, d.h. Änderung der Ziele während des Flugs.⁵¹⁰ Als Trägerplattformen kommen neben Flugzeugen und U-Booten mit konventionell bestückten ballistischen Raketen vom Typ Trident auch Marschflugkörper und verschiedene UAVs in Frage (Tabelle 4-6). Der US-Kongress hat das Programm bisher abgelehnt, da aus russischer oder chinesischer Sicht ein solcher Trident-Start fälschlicherweise als Nuklearangriff gewertet werden könnte.

Verwendung von UMS durch technisch/materiell etwa ebenbürtige Gegner

Die Vereinigten Staaten sind vor dem Hintergrund ihres Militärbudgets, ihren militärischen FuE-Ausgaben und ihres globalen Einsatzfähigkeiten auf den meisten UMS-Sektoren führend. Als einzige globale Herausforderer sind Russland und China in den nächsten Jahrzehnten denkbar. Hier dürfte die Nutzung von UAVs und Marschflugkörpern unterschiedlicher Reichweite, bestückt mit Massenvernichtungswaffen, eine erhebliche destabilisierende Wir

⁵⁰⁶ White House, 2006.

⁵⁰⁷ Der „Überschall-Marschflugkörper“ FALCON soll in weniger als zwei Stunden vom Territorium der USA eine Nutzlast von ca. 5.400 kg über eine Reichweite von 16.700 km transportieren. Ein ähnliches Projekt ist das ballistische, wiederverwendbare Common Aero Vehicle (CAV), ein steuerbarer Wiedereintrittskörper.

⁵⁰⁸ Department of Defense, 2001, S. 44.

⁵⁰⁹ Department of Defense, 2006, S. 6 und 31.

⁵¹⁰ Watts, 2005.

kung haben, sollten diese verstärkt eingeführt werden. Während klassische Nuklearwaffenträger durch Rüstungskontrolle im Falle von Russland und den USA als solche bekannt und begrenzt sind, könnte die Erweiterung des Spektrums potenzieller Nuklearwaffenträger die Krisenstabilität verringern sowie die Präemptionsgefahr oder das Proliferationsrisiko erhöhen. Mit Ausnahme des INF-Vertrages wird diese Kategorie durch Rüstungskontrollverträge nicht erfasst. Die verstärkte Entwicklung von konventioneller Präzisionsmunition kann hier aber zu einem neuen Rüstungswettlauf führen, zumal Präventivstrategien die Abschreckungspotenziale der Nuklearwaffenmächte in Frage stellen.

Staaten, die Entwicklungs- und Einsatzprobleme mit ballistischen Raketen haben, könnten importierte Marschflugkörper oder UAVs umbauen, mit Massenvernichtungswaffen bestücken und im regionalen Kontext eine zusätzliche Bedrohung aufbauen.

Verwendung von UMS durch einen technisch/materiell unterlegenen Gegner

In den Vereinigten Staaten werden seit dem 11. September 2001 diverse Bedrohungsszenarien u.a. auch mit Marschflugkörpern diskutiert. So schätzt die öffentlich zugängliche Zusammenfassung des „National Intelligence Estimate“ aus dem Jahr 2001 ein, dass eine wachsende Zahl von Ländern unbemannte Trägersysteme kaufen und umbauen können.⁵¹¹

„Ein bis zwei Dutzend Länder werden wahrscheinlich um 2015 eine Fähigkeit zum Landangriff mittels Marschflugkörpern (land-attack cruise missiles, LACM) besitzen, durch eigene Entwicklung, Beschaffung oder Modifikation anderer Systeme wie Antischiffs-Marschflugkörper oder unbemannte Luftfahrzeuge. Die meisten LACMs werden eine Reichweite von wenigen hundert km haben und vor allem eine Bedrohung auf dem Kriegsschauplatz bilden – aber mit genügend Reichweite, um auf Luft- oder See-Startplattformen stationiert zu werden.“

Insbesondere Staaten wie Russland, China, Frankreich, Großbritannien, Südafrika und Pakistan exportieren LACMs. Die Konversion von Antischiffs-Marschflugkörpern (ASCMs), wie z.B. dem chinesischen ASCM Silkworm, in einen Marschflugkörper, der sich zu Landangriffen eignet, ist nicht trivial, aber mit Kenntnissen im Bereich Flugsteuerung durchaus für kleine Staaten leistbar:

„Erstens ist die Silkworm ein großer Flugkörper; seine interne Geräumigkeit und die Einfachheit des Designs bedeuten, dass eine Umrüstung geringere technische Fähigkeit erfordern wird. Mit dem Platz, der durch den Austausch des originalen Silkworm-Autopiloten

⁵¹¹ National Intelligence, 2001.

und des Radarführungssystems durch ein modernes Navigationssystem gewonnen wird, könnte eine umgerüstete Silkworm bei einer Nutzlast von 500 kg zumindest eine Reichweite von einigen hundert Kilometern zurücklegen. Darüberhinaus stellen die großen Abmessungen kein Hindernis dar, um den Flugkörper in einem 12-Meter-Standardcontainer zu verbergen und ihn mit einer kleinen internen Aufrichtvorrichtung für den Start zu versehen.

Zum zweiten stellen die Silkworm und deren nahe Verwandte, die Styx, nach der US-amerikanischen Harpoon und der französischen Exocet, die drittgrößte Klasse exportierter Antischiffs-Marschflugkörper dar. Sie ist in den Inventaren von Ländern wie Bangladesch, der Demokratischen Republik Kongo, Dubai, Ägypten, Iran, Irak, Nordkorea und Pakistan zu finden, was es denkbarer macht, dass eine terroristische Gruppierung sich einen oder zwei überschüssige Flugkörper aneignen könnte.“⁵¹²

Es wird auf die Möglichkeit verwiesen, dass diese Flugkörper von Schiffen oder Flugzeugen einige hundert Kilometer vor der US-Küste eingesetzt werden könnten:

„Vom technischen Standpunkt stellen Marschflugkörper, wenn sie von vorgelagerten Gebieten gestartet werden, eine bessere Alternative gegenüber ballistischen Raketen dar. Viele Staaten würden deshalb Marschflugkörper für einen Angriff auf die Vereinigten Staaten als vorteilhaft ansehen. Die plausibelste Möglichkeit für einen Start aus vorderer Position wäre ein verborgen ausgerüstetes Handelsschiff.“⁵¹³

Viele Städte oder Industriezentren liegen in der Nähe von Küsten und sind somit durch von Schiffen verschossene Marschflugkörper oder UAVs zu erreichen.

Das National Air and Space Intelligence Center, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, folgert in seiner Studie „Ballistic and Cruise Missile Threat“ aus dem Jahre 2006 bezüglich Marschflugkörpern, die für den Angriff auf Landziele (LACM) gedacht sind:⁵¹⁴

“Die Bedrohung der US-Streitkräfte durch Marschflugkörper wird innerhalb des nächsten Jahrzehnts zunehmen. Mindestens neun ausländische Staaten werden während des nächsten Jahrzehnts an der Produktion von LACM beteiligt sein, und einige LACM-Produzenten werden ihre Marschflugkörper für den Export verfügbar machen.“

⁵¹² Gormley, 2003a, S.6.

⁵¹³ Ebenda.

⁵¹⁴ National Air, 2006.

Auch Institute wie die RAND Corporation verweisen darauf, dass Länder, die den USA feindlich gesonnen sind, Marschflugkörper und UAVs als Trägerplattformen für fünf Hauptmissionen nutzen könnten:⁵¹⁵

“Die Vorteile, die sich durch UAVs und Marschflugkörpern gegenüber anderen Angriffsformen ergeben, liegen nicht in der Zerstörungskraft, die sie tragen können; sie liegen in der Art, wie sie diese Zerstörungskraft tragen und in der Distanz, aus der sie einem Gegner erlauben, deren Ausbringung zu steuern.[...] Diese Systeme erscheinen am vorteilhaftesten, weil sie es einem Gegner leichter machen, fünf Hauptdinge zu tun: (1) Angriffe über Umfriedungs-Verteidigungen; (2) Angriffe über nationale Grenzen; (3) Durchführung mehrerer gleichzeitiger Angriffe; (4) Führung einer Angriffskampagne (Serie von Angriffen über die Zeit); (5) Angriff gegen Flächenziele mit unkonventionellen Waffen.“

Nach einer Studie des „Center for Strategic and Budgetary Assessments“ stellen Marschflugkörper schon heute eine Bedrohung für US-Truppen im Auslandseinsatz dar:

“Marschflugkörper stellen bereits eine Gefahr für US-Basen dar. Eine neue Analyse ermittelte, dass weniger als ein Dutzend mit Submunition bestückter Marschflugkörper beinahe ein ganzes, im Freien geparktes Jagdgeschwader schwer beschädigen oder zerstören könnten. In ähnlicher Weise bedrohen ASCMs US-Schiffe, insbesondere an engen Stellen und in Küstengewässern.“⁵¹⁶

Im Rahmen der Operation “Iraqi Freedom” 2003 konnte die lokale amerikanisch/kuwaitische Patriot-Raketenabwehr zwar alle neun vom Irak gestarteten ballistischen Raketen erfolgreich abfangen und zerstören, sie versagte aber offenbar bei anfliegenden Silkworm-Marschflugkörpern. Vier von fünf niedrig fliegenden irakischen Marschflugkörpern wurden nicht rechtzeitig detektiert und konnten nicht abgefangen werden. Darüber hinaus wurden mindestens zwei irakische Leichtflugzeuge – bei denen befürchtet werden musste, dass sie in der Lage waren, chemische oder biologische Kampfstoffe zu tragen – erst zu einem Zeitpunkt ausgemacht, nachdem sie bereits Tausende von US-Truppen überflogen hatten.⁵¹⁷ Die Erfolge des Patriot-Systems bei der Verteidigung gegen ballistische Raketen, kombiniert mit den erheblichen Mängeln in Bezug auf Marschflugkörper, dürften den Anreiz dieser UAV-Systeme für potenzielle US-Gegner steigern.

Auf Basis einer Simulation kam die Studie zu dem Ergebnis, dass ein konventioneller Angriff mit ca. 100 Flugkörpern und UAVs auf vier Luftwaffenstützpunkte im Persischen Golf zu

⁵¹⁵ Jackson et al., 2008, S. xvi.

⁵¹⁶ Mahnken, 2005, S. 36.

⁵¹⁷ Gormley, 2003b.

einer 90-prozentigen Zerstörung der auf Flugfeldern abgestellten Flugzeuge führen kann. Zusätzlich würde der Einsatz von 40 ballistischen Raketen und 8 konvertierten UAVs die Unterkünfte und die Frühwarnradars bedrohen.⁵¹⁸

Marschflugkörper und bestimmte UAVs eignen sich aufgrund der langsamen Fluggeschwindigkeit auch zum Transport und Ausbringen von chemischen oder biologischen Agenzien. Verglichen mit dem Letalitätsradius einer ballistischen Rakete, die mit einer biologischen Substanz bestückt ist, ist der Radius eines Marschflugkörpers oder UAVs um den Faktor 10 größer.⁵¹⁹

“Modellierung der Ausbringung von Kampfmitteln zeigt, dass UAVs oder Marschflugkörper die letale Fläche eines biologischen Kampfstoffs, konservativ ausgewertet, um den Faktor zehn vergrößern gegenüber ballistischen Raketen.“

Angesichts der Weiterverbreitung von Know-how und Technologiekomponenten zum Bau von unbemannten Plattformen kann nicht ausgeschlossen werden, dass dem Westen feindlich gesonnene Staaten Truppen im Ausland bzw. Bevölkerungszentren mit einzelnen Angriffen erhebliche Probleme bereiten können. Insbesondere der Einsatz von Massenvernichtungswaffen ist hier herausragend. Die technischen Unterschiede zwischen Marschflugkörpern und UAVs sind fließend (siehe Kapitel 1). Mit dem unterschiedlichen Abschuss- und Flugverhalten können beide Kategorien wegen ihrer schlechten Detektierbarkeit eine erhebliche Gefahr darstellen, wenn sie mit MVW bestückt sind.

4.3.3 Anwendungen von UMS durch substaatliche Akteure

Die Gruppe III des PRK-Konzeptes bezieht nachhaltige, politische und gesellschaftliche Kriterien ein. Der möglicherweise leichte Zugang zu konventionellen Steuerungs-, Antriebs-, und Flugtechnologien könnte auch substaatlichen Akteuren Möglichkeiten eröffnen, UMS für kriminelle und zerstörerische Zwecke zu verwenden. Gezielte Attentate auf führende Politiker oder Institutionen mit UMS könnten die öffentliche Ordnung in Frage stellen. Das Ausbringen von giftigen Ingredienzien durch Flugapparate könnte zu Schäden für Mensch, Tier und Umwelt führen. Auch internationalen Experten bereitet die zunehmende Verwendung von UAVs durch substaatliche Akteure Sorge. Entscheidende Barrieren sind hier der Zugriff auf UAVs, die Überwindung der Handhabungsprobleme und eine Abschätzung, inwieweit die mögliche Tätergruppe die High-Tech-Systeme nicht durch billigere oder einfachere Mittel

⁵¹⁸ Ebenda, S. 36-37.

⁵¹⁹ Gormley, 2003a, S. 5.

wie z.B. LKW oder Attentäter ersetzen könnte. UAVs könnten natürlich auch von Staaten an substaatliche Gruppen weitergegeben werden.

Obwohl bei Extremisten im Rahmen bisheriger Anschläge vor allem ferngezündete Bomben, Sprengstofffallen oder Selbstmordattentäter zum Einsatz kamen, könnten nach Meinung einiger Experten zukünftig wohl auch die immer günstigeren und mittlerweile verbreiteten „neuen Technologien“ ihren Einzug in neue terroristische Strategien finden.⁵²⁰ In Anbetracht einer sicher nicht perfekten Exportüberwachung, gepaart mit der Dual-Use-Problematik bestimmter UAV-Komponenten und der schnellen Weiterverbreitung von technologischem Wissen, z.B. über das Internet, kann der Einsatz von UAVs oder Marschflugkörpern im Rahmen extremistischer Operationen als eine der potenziellen zukünftigen Bedrohungen angesehen werden. Beim Einsatz von UMS zu terroristischen Zwecken muss unterstrichen werden, dass das Ziel eines solchen Anschlages in dem Hervorrufen von öffentlicher Abscheu und nicht in der Zerstörung klar definierter Ziele liegt.

Bezüglich der Verwendung von Marschflugkörpern kommt eine Studie des George C. Marshall Institute aus dem Jahr 2007 zu dem Ergebnis:

„Die Möglichkeiten einer terroristischen Gruppierung oder eines nichtstaatlichen Akteurs, sich Marschflugkörper zu beschaffen, können nicht länger ignoriert werden. Dass solche Gruppierungen, insbesondere terroristische Gruppen, diese Marschflugkörper als Instrument des Terrors auf Ziele in den Vereinigten Staaten feuern könnten, ist offensichtlich.“⁵²¹

Rear Admiral Chris Parry meinte hierzu während eines Expertenforums am Royal United Service Institute, dass es früher oder später dazu kommen wird, dass auch programmierte Flugzeuge als Waffe gegen Gebäude eingesetzt werden, weitergehend bezeichnete der Brite ferngesteuerte Flugzeuge oder konvertierte Modellflugzeuge als eine ideale terroristische Waffe, die leicht zu bauen wäre und eine Radarüberwachung relativ simpel überwinden könnte.⁵²² Ferner erwähnte er die Gefahr, dass zum Beispiel mit unbemannten unterseebootartigen Fahrzeugen auch Drogen über den Pazifik geschmuggelt werden könnten.⁵²³

Der Einsatz eines unbemannten Flugsystems im Rahmen terroristischer Anschläge würde Extremisten im Prinzip eine Vielzahl möglicher Vorteile bringen.⁵²⁴ UAVs können im Ver-

⁵²⁰ Siehe auch z.B. Gormley, 2003a; Jackson et al., 2008.

⁵²¹ Kueter/Kleinberg, 2007, S. 24.

⁵²² Modellflugzeuge mit Sprengstoffzuladung zum Angriff gegen Taliban-Kräfte in Afghanistan haben die Spezialkräfte Großbritanniens schon eingeführt, Leake, 2006. Wenn solche Systeme von vielen anderen Staaten eingeführt werden, wird Weiterverbreitung an substaatliche Akteure kaum aufzuhalten sein.

⁵²³ Satter, 2008.

⁵²⁴ Miasnikov, 2005, S. 4.

gleich mit ballistischen Raketen und bemannten Flugzeugen als kosteneffektiv angesehen werden. Die Verwendung preisgünstiger, gängiger ziviler Technologien ermöglicht bereits heute die Konstruktion von UAVs, deren Reichweite und Zielgenauigkeit für den Großteil terroristischer Anschlagsszenarien als ausreichend angesehen werden könnte. Als weiterer Vorteil erweist sich der Umstand, dass die eigentliche Konstruktion und Vorbereitung des UAVs auf kleinstem Raum, nahezu im Verborgenen, stattfinden kann und auch der Transport des UAVs mittels gängiger ziviler Fahrzeuge möglich ist. Der eigentliche Start würde dann zumeist erst unmittelbar vor dem geplanten Anschlag erfolgen, abhängig von der Wahl des Startplatzes kann dabei auch eine größtmögliche Entfernung von einigen Dutzend Kilometer zum Anschlagziel gewählt werden. Die taktischen Vorteile eines UAVs liegen zum einen in der Möglichkeit, auch solche Ziele anzufliegen, die über den Landweg nur schwer zu erreichen wären (ggf. wegen Absperrungen, Bewachung etc.). Darüber hinaus haben sich heutige Luftverteidigungssysteme in Bezug auf eine erfolgreiche Abwehr tieffliegender UAVs und Marschflugkörper bisher als nur sehr unzureichend erwiesen. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass eine flächendeckende Radarüberwachung mit den heutigen Radars erst ab einer Höhe von ca. 100 m möglich ist. Eine eigene Abwehr für tieffliegende Marschflugkörper und UAVs würde die Nutzung von luftgestützten Radarplattformen benötigen sowie die Einführung eines dichteren Netzes von Interzeptoren.

Neben dem Einsatz mit Sprengstoff bestückter UAVs als fliegende Bombe ist es vor allem die Ausbringung potenziell vorhandener Massenvernichtungswaffen, in der eine besondere Gefahr liegt und die UAVs für Terroristen attraktiv machen könnte. Die Detonation einer sogenannten schmutzigen Bombe über einer Stadt hätte eine ungleich stärkere Wirkung als am Boden.⁵²⁵ Des weiteren sind UAVs aufgrund ihrer zumeist niedrigen Geschwindigkeit besonders gut in der Lage, Aerosole mittels einer Sprühvorrichtung in geringen Höhen großflächig zu verbreiten, eine Ausbringungsform, die sich für B- und C-Waffen eignen würde.⁵²⁶ Ein terroristischer UAV-Angriff hätte sicherlich eine starke psychologische Wirkung, einerseits durch das Hervorrufen von Panik und Angst in der Bevölkerung, wenn diese wehrlos Angriffen aus der Luft ausgesetzt ist, andererseits durch eine mögliche Hilflosigkeit der Behörden und den dadurch ausgeübten politischen Druck durch die „betroffene“ Bevölkerung.

Unabhängig von den angeführten Szenarien liegen bisher keine Berichte über terroristische Anschläge vor, in denen UAVs oder Marschflugkörper eine konkrete Rolle gespielt hätten,

⁵²⁵ Radioaktives Material wird in vielen industriellen, medizinischen und wissenschaftlichen Verwendungen genutzt und ist nicht in allen Fällen ausreichend bewacht.

⁵²⁶ Dickey, 2000, und Gormley, 2003a.

wohl aber gibt es Berichte über konkrete Überlegungen und anfängliche Planungen, UAVs für diese Zwecke einzusetzen.⁵²⁷ Als erste nichtstaatliche Gruppierung setzte die Hisbollah 2006 in den militärischen Auseinandersetzungen mit der israelischen Armee UAS vom Typ Ababil-T ein (Hisbollah-Bezeichnung Mirsad-1).⁵²⁸ Die Hisbollah verfügt über schätzungsweise 12 – 20 „Ababil“-UAVs aus iranischen Beständen. Das Ababil-UAV hat eine Nutzlast von etwa 40 – 50 kg bei einer Reichweite von ca. 450 km und eine GPS-unterstützte Steuerung. Insgesamt wird von drei solchen gestarteten UAVs berichtet, die alle von der israelischen Luftwaffe abgeschossen wurden.⁵²⁹ Eines davon drang am 8. August 2006 etwa 15 km von Haifa entfernt in den israelischen Luftraum ein und wurde von zwei F-16 Kampffjets über israelischen Territorium zerstört.⁵³⁰

Man vermutet heute, dass die Hisbollah während des Libanonkrieges 2006 im Besitz einer geringen Anzahl an C-802 Antischiffs-Marschflugkörpern war. Die C-802 stammt ursprünglich aus China, wurde aber sowohl im Iran als auch in Nordkorea weiterentwickelt⁵³¹ und gilt als einer der wirkungsvollsten Antischiffs-Marschflugkörper weltweit. Die C-802 mit einer Geschwindigkeit von bis zu 0,9 Mach (1.100 km/h) hat eine Reichweite von 120 km, bei einer Nutzlast von 165 kg. Während des Libanonkrieges kam es zu einem bestätigten Einsatz eines solchen Marschflugkörpers gegen ein israelisches Schiff (Sa'ar 5), welches im Zusammenhang mit diesem Angriff beschädigt wurde.⁵³²

4.3.3.1 Ein Vergleich: UAVs und konventionelle Bomben

Um der Frage nachzugehen, inwiefern die Verwendung von UAVs und Marschflugkörpern eine ernsthafte asymmetrische Bedrohung darstellen könnte, wurden in einer RAND-Studie⁵³³ vorstellbare Angriffsszenarien, in denen UAVs und Marschflugkörper eine Rolle spielen, mit herkömmlichen, alternativen Angriffsmethoden verglichen. Die RAND-Studie betont, dass die potenzielle Attraktivität von UAVs oder Marschflugkörpern stark von den angestrebten Zielen und der beabsichtigten Wirkung abhängt. Die Studie geht dabei von drei Klassen möglicher asymmetrischer Angriffsszenarien aus, für die UAVs und Marschflugkörper in Frage kämen:

⁵²⁷ Miasnikov, 2005.

⁵²⁸ BBC, 2004, 2005; Jane's, 2006: S. 75 f.

⁵²⁹ Ephron, 2007.

⁵³⁰ Cordesman, 2008.

⁵³¹ Korea Times, 2000.

⁵³² Cordesman, 2008.

⁵³³ Jackson et al., 2008.

1. den *direkten Angriff* mittels Explosivstoffen/-waffen, z.B. auf „Infrastrukturziele“ wie Gebäude, auf Individuen oder Menschenansammlungen,
2. den *indirekten Angriff*, mit dem Ziel, durch die bloße sichtbare Präsenz von UAVs und Marschflugkörpern Panik und Unruhe zu stiften und so z.B. andere, sekundäre Angriffe durchzuführen oder von diesen abzulenken, und
3. der Einsatz von mit *Sprühvorrichtungen* versehenen UAVs oder Marschflugkörpern zur gezielten großflächigen Verbreitung von chemischen, biologischen oder radiologischen Agenzien in Form eines Aerosols.

Bei dem *direkten* Angriffsszenario handelt es sich um ein heute weit verbreitetes terroristisches Szenario, welches eine gute Grundlage bietet, die potenziellen Vorteile von UAVs oder Marschflugkörpern gegenüber der Vielzahl alternativer Angriffsoptionen (Formen, in denen Sprengstoff zum Ziel befördert werden kann) abzuwägen und so die mögliche Attraktivität von UAVs und Marschflugkörpern für Terroristen im Rahmen eines solchen Szenarios abzuschätzen. Die RAND-Studie bezeichnet in ihrer Analyse als wichtigste Parameter eines direkten Angriffsszenarios die Sprengkraft (abgeschätzt anhand der Menge an Explosionsstoff, die zum Ziel befördert werden kann), die Art der Waffenwirkung (z.B. Druckwelle, Splitterwirkung) und die Genauigkeit der Waffe sowie die Wahrscheinlichkeit, dass diese überhaupt bis zum Ziel gelangt.

Beim Vergleich verschiedener Angriffsoptionen zeigt sich, dass die Effektivität der Waffennutzlast von UAVs und Marschflugkörpern, im Gegensatz zu LKW-Bomben (mit Sprengstoff voll beladene LKWs), sehr viel geringer ist (siehe Tabelle 4-7). Das Spektrum der Sprengkraft reicht bei UAVs und Marschflugkörpern von 5 bis 500 kg C-4-Äquivalent, die Sprengweste eines Selbstmordattentäters bringt es auf 9 kg, eine Autobombe auf 100 bis 500 kg, eine LKW-Bombe auf 1.500 bis 15.000 kg und ein Geschäftsflugzeug auf ungefähr 900 kg C-4-Äquivalent.

Die unmittelbare Waffenwirkung der Angriffsoptionen aus Tabelle 4-7 – unter Annahme eines Angriffes auf eine Menschenansammlung in einem 10.000 m² großen Zielgebiet – wird in Abbildung 4-1 verdeutlicht. Die RAND-Studie stellt hier einmal den effektiven Explosionsradius (Balkendiagramm) einer jeden Angriffsoption und die dadurch erfolgte anteilige Abdeckung (Punkte) der gesamten angegriffenen Fläche des Zielgebietes (10.000 m²) zueinander in Bezug. Wo der Explosionsradius bei Auto- und LKW-Bomben im Bereich von 20 bis 90 m liegt und so eine Fläche abdeckt, die mit bis zu 25.400 m² dem mehr als 2,5fachen des Zielgebietes entsprechen kann, weisen UAVs und Marschflugkörper Explosionsradien vom

Meterbereich bis zu etwa 30 Meter auf, was maximal einer Fläche von 2.800 m² entspricht und damit eine Abdeckung von weit weniger als der Hälfte des Zielgebietes bedeutet.

Tabelle 4-7 Geschätzte mögliche Sprengkraft verschiedener Angriffsoptionen^a

Estimated Representative Explosive-Charge Sizes for Relevant Weapon Types	
Weapon	Warhead Weight (Kilograms of C-4 Equivalent)
Bomber vest	9
Car bomb (low)	100
Car bomb (average)	225
Car bomb (large)	500
Truck bomb (light)	1,500
Truck bomb (medium)	3,000
Truck bomb (large)	15,000
Small UAV	5
Medium UAV	100
Large UAV	500
Bizjet	900
Cruise missile	500
Mortar	
SOURCES: RAND estimates derived from literature sources (e.g., Bureau of Alcohol, Tobacco, and Firearms, "ATF Vehicle Bomb Explosion Hazard and Evacuation Distance Tables," Washington, D.C.: ATF Instruction 5400.1, January 1999; and expert input.	

a Mortar: Eine mittlere Mörsergranate mit 31 m Spliterradius (3.000 m² Fläche) dient zum Vergleich.
Quelle: Jackson et al., 2008: Table 2-1.

Anhand dieser Daten kommt die RAND-Studie vor allem zu dem Schluss, dass im Fall des Einsatzes von UAVs und Marschflugkörpern mit Explosionsgefechtsköpfen zwar ähnliche Effekte erreicht werden können wie auch mit den kleineren landgestützten Angriffsoptionen, es aber am Boden auch eine Vielzahl alternativer Möglichkeiten gibt, die eine weit größere Wirkung aufweisen als UAVs oder Marschflugkörper. Ein möglicher Vorteil von UAVs und Marschflugkörpern gegenüber bodengestützten Angriffsoptionen könnte situationsbedingt aber in ihrer Fähigkeit liegen, einen Angriff aus der Luft durchzuführen und so einer Bodenüberwachung oder etwaigen Absperungen zu entgehen.

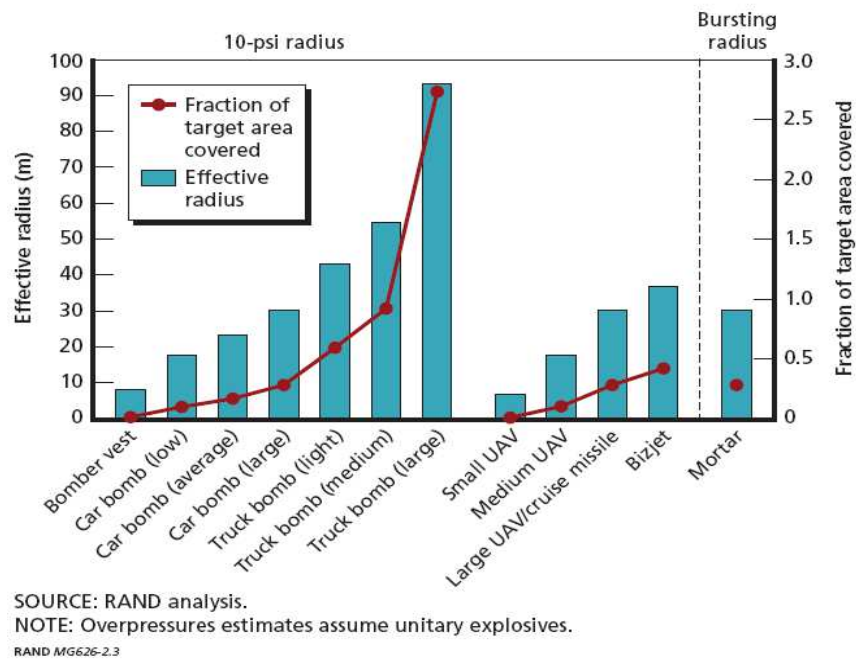


Abbildung 4-1 Explosionsradius und Abdeckung verschiedener Angriffsoptionen⁵³⁴

Eine ganz andere Möglichkeit ist der gezielte Angriff gegen wichtige Personen mit Klein-UMVs, vor allem Klein-UAVs. Trifft man eine Person direkt mechanisch oder zündet in unmittelbarer Nähe eine kleine Sprengladung, sind schwere Verletzungen oder Tod wahrscheinlich. Dasselbe gilt bei Injektion oder naher Freisetzung chemischer oder biologischer Kampfstoffe. Für solche Angriffe können sehr kleine Nutzlasten zwischen 0 und z.B. 50 g reichen; entsprechend könnten dafür Kleinstflugzeuge und –flugkörper mit Gesamtmassen bis zu einigen 100 g und Ausmaßen von 10 bis 50 cm ausreichen. Unter Umständen könnten damit auch empfindliche Stellen an Gerät und Infrastruktureinrichtungen beschädigt werden, etwa die Leitwarte einer Hochspannungsschaltstelle. Hier wäre aber die Wirkung durch kleine Zuladung begrenzt, und die Redundanz der Netze kann Konsequenzen vermindern.

Bisher ist die Nutzung von bewaffneten Klein-UAVs nur durch westliche Streitkräfte bekannt geworden. So setzten britische Special Forces ein Modellflugzeug mit Sprengladung gegen Taliban-Kämpfer ein.⁵³⁵ Wenn man ein Modellflugzeug mit Videokamera und Fernsteuerung zur Verfügung hat, ist es nicht schwer, eine kleine Sprengladung mit Zündmechanismus hinzuzufügen. Das Flugzeug direkt gegen eine Person zu steuern, ist ohne Modifikation möglich. Allerdings benötigt die punktgenaue Steuerung solcher Kleinstflugzeuge erhebliches Training und kann in Städten und unter manchen Wetterbedingungen schwierig sein.

⁵³⁴ Jackson et al., 2008: Figure 2-3.

⁵³⁵ Leake, July 2006.

In besonderen Fällen könnten auch kleine UGV benutzt werden, etwa zum Unterfahren von Zäunen. Prinzipiell könnten auch kleine UUV verwendet werden, wenn sie zugänglich wären. Die Möglichkeiten kleiner UMS für Attentate u.a. sind bisher nicht ausreichend berücksichtigt worden.⁵³⁶

4.4 Zusammenfassende Bewertung

4.4.1 I. Rüstungs- und Rüstungsexportkontrolle

Die vorhandenen Rüstungskontrollverträge errichten bezüglich der Entwicklung und Einführung konventionell bewaffneter, unbemannter Plattformen (die keine MVW tragen) keine entscheidenden Barrieren gegenüber Weiterentwicklungen. Allerdings folgt aus der allgemeinen Zweckbestimmung der B- und C-Waffen-Übereinkommen ein Verbot von unbemannten Plattformen, die Sprüheinrichtungen und Tanks für das Ausbringen von durch die Verträge verbotenen biologischen oder chemischen Agenzien an Bord tragen. Im Rahmen des KSE- und des INF-Vertrages fallen bestimmte UMS unter die mit Obergrenzen versehenen Waffensysteme. Die Kündigung dieser Verträge, die insbesondere durch Russland in Frage gestellt werden, könnte einen neuen Entwicklungsschub bei UMS auslösen. Längerfristig werden alle Streitkräfte UAS in ihre Streitkräftestrukturen in größeren Stückzahlen integrieren. Auch die Einführung von UGS, UUS und USS ist angesichts fortschreitender Technologiedynamik wahrscheinlich. Bewaffnete UMS könnten eine erhebliche asymmetrische Bedrohung für Streitkräfte bedeuten und sollten deshalb in Rüstungskontrollüberlegungen einbezogen werden. Die deutsche Rüstungskontrolldiplomatie sollte zusätzliche Anstrengungen unternehmen, die vorhandenen Rüstungskontrollregime zu stärken und eine Kündigung der Verträge zu verhindern, da sonst kein rüstungskontrollpolitisches Rahmenwerk mehr die Rüstungsdynamik auf dem Gebiet der UMS in Europa einhegen kann.

Mit dem MTCR steht ein im Ansatz wirkungsvolles Non-Proliferationsinstrument für moderne UMS-Technologien zu Verfügung, das angesichts der technologischen Weiterentwicklung entsprechende UCAV-Technologien einbeziehen sollte. Der Hague Code of Conduct sollte Marschflugkörper und UAVs mit einer Reichweite von über 500 km und einer Nutzlast größer als 300 kg einbeziehen. Informationen, die die fortschreitende Rüstungsdynamik von UMS beschreiben, sollten in einem zu gründenden internationalen Datenzentrum gesammelt

⁵³⁶ Altman, 2001, 2006, hat darauf hingewiesen und ein internationales Verbot kleiner mobiler Systeme empfohlen, mit eng begrenzten Ausnahmen.

und dem Mitgliedsstaaten im Rahmen des HCOC zur Verfügung gestellt werden. Im Rahmen des Wassenaar-Abkommens sollten auch UMS-Technologien stärker einbezogen werden.

Sollten mit einer neuen US-Administration Rüstungskontrolle und Abrüstung ab 2009 eine Renaissance erfahren, wären folgende Verbotstatbestände international einzuführen oder in gültige Rüstungskontrollverträge (wie START, INF etc.) einzubeziehen:

- Verbot von UMS mit Massenvernichtungswaffen (Aufnahme in START/INF),
- Verbot von UCAVs (Aufnahme in KSE),
- Verbot von bewaffneten Satelliten im Weltraum (im Rahmen eines allgemeinen Verbots von Weltraumwaffen).⁵³⁷

4.4.2 II. Humanitäres Völkerrecht

Der Einsatz von bewaffneten UMS sollte in jedem Fall im Hinblick auf seine Kompatibilität mit den Anforderungen des humanitären Völkerrechts auf der Grundlage von Artikel 36 ZP I überprüft werden. Dabei sind Erkenntnisse aus einschlägigen Überprüfungsverfahren in Bezug auf zu Aufklärungszwecken eingesetzte UMS zu berücksichtigen.

Für den Einsatz von UMS im bewaffneten Konflikt sollte die Entwicklung ausdrücklicher völkerrechtlicher Regelungen (möglicherweise in Gestalt eines Manuals) in Erwägung gezogen werden. Dabei muss in erster Linie das Unterscheidungsgebot gestärkt werden. Darüber hinaus sind einzelne Details aus unserer Perspektive regelungs-, mindestens klarstellungsbedürftig, nämlich insbesondere

- Vorkehrungen gegen technisches Versagen von bewaffneten und unbewaffneten UMS,
- eine klare und eindeutige Verpflichtung der UMS betreibenden Konfliktpartei auf die Beachtung der Regeln des humanitären Völkerrechts beim Einsatz von UMS,
- Interventionsmöglichkeiten und -pflichten des Steuerers sowie der Einbau von Selbstzerstörungsmechanismen für den Fall des Versagens der Intervention des Steuerers,
- die klare Trennung einer Kontrollstation von zivilen Objekten,
- ein Verbot vollständig autonomer Systeme, soweit und solange es nicht möglich ist, allen Regelungen im Hinblick auf Zielerfassung (targeting) und allen erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen in der Weise Rechnung zu tragen, wie dies bei nicht-autonomen Systemen (also dem Einsatz menschlicher Fähigkeiten) der Fall ist.

⁵³⁷ Siehe Petermann u.a., 2003.

4.4.3 III. Militärische Stabilität und Kriegsverhütung

UMS versprechen den Streitkräften militärische Vorteile, da im Gegensatz zu bemannten Plattformen zunächst keine eigenen Menschenleben in Gefahr geraten. Sie sind paradigmatisch für die sog. „Revolution in Military Affairs“. Besonders in technologiezentrierten westlichen Staaten bildet dies politisch ein wichtiges Argument für verstärkte Forschung, Entwicklung und Beschaffung. Hinzu treten verglichen mit bemannten Plattformen Aussichten für geringere Unterhalts- und Ausbildungskosten für Personal. Je nach den technologischen Möglichkeiten können UMS im Prinzip eine hohe Zielgenauigkeit und große Reichweite besitzen, sie sind je nach Typ und unter Nutzung des jeweiligen Mediums gut getarnt sowie von Land, Luft oder See einsetzbar. Dies ermöglicht ein tiefes Eindringen ins Territorium des Gegners und damit überraschende Präzisionsschläge. Besonders in niedrigen Höhen und bei langsamen Geschwindigkeiten sind UAVs extrem schwer bzw. spät zu detektieren. Eine flächendeckende Luftverteidigung hierfür existiert bisher nicht. Die Anschaffung von UMS ist jeweils unter dem Gesichtspunkt des Einsatzzwecks, der damit verbundenen Kosten und der Effektivität bezüglich alternativer Lösungen zu sehen.

Da einige UMS modular mit konventionellen wie Massenvernichtungswaffen bestückt werden können, können sie in einer Krise oder in einem Krieg destabilisierend wirken. Ein Verteidiger weiß im Angriffsfalle nicht, ob eine unbemannte Plattform mit oder ohne MVW bestückt ist. UAVs können auch deshalb destabilisierend wirken, weil sie leichter in fremdes Territorium geschickt werden können. Aufgrund eines vorprogrammierten Flugpfades in geringer Flughöhe und eines kaum zu identifizierenden Abschussortes wären sie für die verteidigende Aufklärung kaum auffindbar, und ihr Einsatz beinhaltet zudem geringere Risiken bezüglich eines möglichen Gegenschlages. Bereits heute existieren Marschflugkörper für Angriffsmissionen, jedoch sind diese unflexibler, oft größer und schwieriger zu verschießen.

Angesichts der Zugänglichkeit von wichtigen UMS-Komponenten auf dem internationalen Markt, des Exports und Umbaus von Marschflugkörpern und der allgemeinen Bedrohungslage in Südasien und dem Mittleren Osten ist abzusehen, dass das Wettrüsten zwischen Indien und Pakistan sowie zwischen Israel und einzelnen Nachbarstaaten auf dem Sektor von Trägersystemen auch unbemannte Plattformen, einschließlich bewaffneter, mit einbeziehen wird.

Angesichts der allgemeinen konventionellen Überlegenheit der US- sowie alliierten Streitkräfte bildet die Nutzung von UMS, insbesondere UAVs, ein zusätzliches Problem im Rahmen der asymmetrischen Kriegsführung. So kann ein koordinierter Überraschungsangriff auf Truppenquartiere ein zunehmendes Risiko darstellen, wenn UMS in die Hand von Aufständischen, Rebellen oder anderen Kriegsparteien geraten. Auch der Einsatz von Massenvernich-

tungswaffen mittels UAVs ist mittelfristig denkbar. Für im Ausland stationierte Streitkräfte kann die asymmetrische Verwendung von umgebauten Marschflugkörpern und UAVs zunehmend Schwierigkeiten bereiten, wie dies der Irak-Krieg 2003 gezeigt hat. So könnte Iran die Straße von Hormuz mit Antischiffs-Marschflugkörpern sperren oder China die Straße von Taiwan. Die Einbeziehung von Marschflugkörpern und UAVs in regionale Rüstungskontrollabkommen sollte angestrebt werden. Für den Fall, dass im Mittleren Osten eine Zone eingeführt werden soll, die frei von MVW ist, müssen neben den klassischen Trägersysteme wie Raketen und Bombern auch Marschflugkörper und UAVs einbezogen werden, falls sie MVW tragen können.

Die Fähigkeit, konventionelle Präzisionsschläge über das gesamte Reichweitenpektrum durchzuführen, wird insbesondere durch die Vereinigten Staaten vorangetrieben. Hierzu gehört die Umrüstung ballistischer Interkontinentalraketen auf konventionelle Munition und die Entwicklung von Überschall-Marschflugkörpern mit großer Reichweite sowie die Verwendung von UAVs mit Präzisionsmunition (Prompt Global Strike). Längerfristig kann diese Entwicklung potenziell auch die Abschreckungsarsenale der Nuklearwaffenstaaten in Frage stellen. Hinzu treten die weltraumgestützten Aufklärungsfähigkeiten und die Raketenabwehrstationierungen, die die Zweitschlagsfähigkeiten Russlands und Chinas bedrohen. Wenn nicht ergänzende kooperative Maßnahmen zwischen den Nuklearmächten eingeführt werden, kann dies zu einem Wiederaufleben des nuklearen Wettrüstens führen.

Auch UCAV bilden in einer Krise zwischen mehr oder weniger symmetrischen Gegnern nur eine Komponente, könnten aber den Auslöser für den Übergang in eine intensive militärische Auseinandersetzung bilden – zumindest wenn eine Seite einen Kriegsvorwand sucht. Unbemannte Plattformen könnten gerade den Auftakt zu Kriegshandlungen bilden, da diese zunächst ohne Risiko, eigene Soldatenleben aufs Spiel zu setzen, gegen kritische und wichtige Ziele im Rahmen eines Überraschungsschlages eingesetzt werden könnten. Durch Unfälle oder technisches Versagen könnten UMS gefährliche Situationen heraufbeschwören. Deshalb sollten größere UMS mit einem Selbstzerstörungsmechanismus ausgestattet sein. Ein Verbot von bewaffneten UMS aus völkerrechtlicher Perspektive (siehe II) könnte ins Auge gefasst werden. Autonome Waffenauslösung sollte in jedem Fall verboten werden.

4.4.4 IV. Gefahrenvermeidung für nachhaltige gesellschaftliche Entwicklungen

Der terroristische Einsatz von Kleinst-UAV (einige 10 bis einige 100 g Zuladung) kann zukünftig nicht ausgeschlossen werden, auch wenn billigere alternative Mittel zu Verfügung

stehen oder sich stets Attentäter finden lassen, die ihr eigenes Leben durch Selbstmordattentate opfern. Dennoch könnten z.B. UAVs Menschengruppen erreichen, die jetzt noch gut geschützt sind. Folgende Szenarien sind denkbar:

1. Angriffe mit Kleinst-UAVs gegen Einzelpersonen sind möglich, wenn es Attentätern gelingt, die kleine Zuladung (z.B. 50 g) Sprengstoff oder das Gift in unmittelbare Nähe der Zielperson zu bringen oder die Person direkt anzufliegen. Dies verlangt allerdings Training und gesicherte Datenverbindungen. Für einen solchen Angriff ist keine Infrastruktur für den Abschuss nötig, sondern lediglich das Klein-Luftfahrzeug und ein Funkempfänger/-sender.
2. Angriffe durch UMS gegen die allgemeine Bevölkerung sind möglich, wenn sie Sprühvorrichtungen für C- oder v.a. B-Waffen haben oder solche Stoffe in Trinkwasserreservoirs einbringen können.
3. In Einzelfällen ist auch die Zerstörung empfindlicher Stellen der sonstigen Infrastruktur denkbar, allerdings wären die Wirkung und die Konsequenzen zumeist begrenzt. In besonderen Fällen könnten auch kleine UGV oder UUV benutzt werden.

Im Wesentlichen sind viele UMS-Entwicklungen in einer Frühphase der technischen Entwicklung, und angesichts einer Vielfalt von Einsatzzwecken sind spezifische neue kriminelle Anwendungen noch nicht direkt erkennbar. Kleine USV sind bisher nicht allgemein zugänglich, kleine UUV werden wohl weitgehend auf militärische Nutzergruppen begrenzt bleiben, und Satelliten sind sowieso nur durch Raumfahrt betreibende Staaten oder Großfirmen zu handhaben.

Terroristischer Einsatz von UAVs würde verglichen mit bisherigen Anschlagsszenarien nur in seltenen Fällen potenzielle Vorteile bieten, vielmehr kann oftmals die Wirkung mit anderen Angriffs- und Ausbringungsmethoden viel einfacher erzielt werden. Vorteile sind insbesondere möglich unter Verwendung von bemannten oder unbemannten Kleinflugzeugen. Hier sollte das Lizenzierungsverfahren überprüft und verschärft werden. Außerdem könnte die Aufmerksamkeit in Bezug auf den Missbrauch von Flugsystemen in den entsprechenden Nutzerkreisen (Modellflugzeuge, Flugschulen, Hobbypiloten) verstärkt werden.

Literatur zu Kapitel 4

- Air Force, 2007: Reaper UAV now in Afghanistan, Air Force Print News, 12. 10. 2007.
- Altmann, J., 2006: Military Nanotechnology. Potential Applications and Preventive Arms Control, Abingdon/New York: Routledge.
- AP (Associated Press), 2008: Rise of the Machines: UAV Use Soars, Associated Press, 2. Januar 2008.
- Aviation Week, 2007: Reaper Fires First Missiles in Combat, Aviation Week's DTI, 30. 10. 2007.
- Aviation Week, 2007a: Herti UAV Operational in Afghanistan, Aviation Week's DTI, 07. 11. 2007.
- Bahr, E., Lutz, D.S. (Hrsg.), 1986: Gemeinsame Sicherheit. Idee und Konzept, Band I: Zu den Ausgangsüberlegungen, Grundlagen und Strukturmerkmalen Gemeinsamer Sicherheit (Militär, Rüstung, Sicherheit; 40), Baden-Baden.
- Ball, D., 2004: Intelligence Collection Operations and EEZs, Marine Policy 28, S. 67-82.
- Bausback, W., 2005: Terrorismusabwehr durch gezielte Tötungen?, Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht, Nr. 24, S. 418-420.
- BBC (British Broadcasting Corporation), 2004: Hezbollah drone flies over Israel. BBC News, 7 Nov. 2004.
- BBC (British Broadcasting Corporation), 2005: Hezbollah drone flies over Israel. BBC News, 11 April 2005.
- Beer, T., 1987: Der Weltraum und seine militärische Nutzung in Friedenszeiten im Lichte des Völkervertragsrechts, Dissertation Berlin.
- Bender, B., 2005: Attacking Iraq from a Nevada Computer, The Boston Globe, 3. April 2005, sec. A6.
- Boese, W., 2008: Russia Halts Missile Launch Notices, Arms Control Today, March 2008, http://www.armscontrol.org/act/2008_03/RussiaHalts.asp?print (20. 7. 2008).
- Botha, C., 1999: From Mercenaries to "Private Military Companies", South African Yearbook of International Law, 24, S. 133-148.
- Bothe, M., 1973: Das völkerrechtliche Verbot des Einsatzes chemischer und bakteriologischer Waffen, Köln u.a.
- Bothe, M., 2001: Legal Restraints on Targeting, in: Dinstein und Domb (ed.), Israel Yearbook on Human Rights, Vol. 31, Leiden/Boston: Martinus Nijhoff, S. 35-49.

- Bothe, M., 2002: Moderner Luftkrieg und Schutz der Zivilbevölkerung, Humanitäres Völkerrecht – Informationsschriften 15, S. 31-34.
- Bothe, M., 2005: Töten und getötet werden. Kombattanten, Kämpfer und Zivilisten im bewaffneten Konflikt, in: Dicke, K., et al. (Hrsg.), Weltinnenrecht – Liber amicorum Jost Delbrück, Berlin, S. 67-84
- Bothe, M., 2007: Friedenssicherung und Kriegsrecht, in: Graf Vitzthum, W., et al. (Hrsg.), Völkerrecht, 4. Aufl., S. 683 ff, Berlin: De-Gruyter-Lehrbuch.
- Brauch, H.-G., van der Graaf, H., Grin, J., Smit, W., 1997: Militärtechnologiefolgenabschätzung und präventive Rüstungskontrolle – Institutionen, Verfahren und Instrumente, Münster/Hamburg.
- Bull, H., 1961: The Control of the Arms Race: Disarmament and Arms Control in the Missile Age, 1961, London: Weidenfeld & Nicolson for the Institute for Strategic Studies.
- Bundesministerium der Verteidigung, 1993: Humanitäres Völkerrecht in bewaffneten Konflikten, Bonn.
- Burger, J.A., 2000: International Humanitarian Law and the Kosovo Crisis: Lessons Learned or to be Learned, International Review of the Red Cross, No. 837, S. 129-145, <http://www.icrc.org/Web/Eng/siteeng0.nsf/html/57JQCS> (7. 7. 2008).
- CNS (Center for Nonproliferation Studies), 2007: Senior Fellow Dennis Gormley Invited to Address Vienna Missile Conference. Calls For Urgent Attention To Global Spread Of Cruise Missiles, http://cns.miis.edu/pubs/other/070605_gormley.htm (20. 7. 2008).
- Committee on Materials, Structures, and Aeronautics for Advanced Uninhabited Air Vehicles (National Research Council), 2000: Uninhabited Air Vehicles – Enabling Science for Military Systems, Washington DC: National Academies Press.
- Committee for the Review of ONR's Uninhabited Combat Air Vehicles Program (National Research Council), 2000: Review of ONR's Uninhabited Combat Air Vehicles Program, Washington DC: National Academies Press.
- Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations (National Research Council), 2005: Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, Washington DC: National Academies Press.
- Cordesman, A.H. 2006: Preliminary "Lessons" of the Israeli-Hezbollah War, Working Draft, August 2006, Washington DC: Center for Strategic and International Studies.
- Cordesman, A.H., 2008: The Lessons of the Israeli-Lebanon War – A Briefing, CSIS, März 2008.

- Crawley, V., Svitak, A., 2002: UAV Strike Raises Moral Questions, Air Force Times, November 18, 2002, S. 16.
- Creutz, K., 2006: Transnational Privatised Security and the International Protection of Human Rights (2006), Erik Castrén Institute Research Reports 19/2006, Helsinki.
- Dando, M., 2002: Scientific and technological change and the future of the CWC. The problem of non-lethal weapons, Disarmament Forum, United Nations Institute for Disarmament Geneva, Nr. 4, S. 33-44.
- Daoust, I., Coupland, R., Ishoey, R., 2002: New Wars, New Weapons? The Obligation of States to Assess the Legality of Means and Methods of Warfare, *Revue Internationale de la Croix-Rouge* 84, S. 345-363.
- Dawkins, J., Jr., 2005: Unmanned Combat Aerial Vehicles: Examining the Political, Moral and Social Implications, Thesis, Air University, Maxwell Air Force Base AL, <https://research.maxwell.af.mil/papers/ay2005/saas/Dawkins.pdf> (20. 7. 2008).
- den Dekker, G., 2001: The Law of Arms Control, The Hague [u.a.].
- Department of Defense, 2001: Quadrennial Defense Review Report. Washington DC: Department of Defense.
- Department of Defense, 2006: Quadrennial Defense Review Report. Washington DC: Department of Defense.
- Department of Defense, 2007: Unmanned Systems Roadmap 2007-2032, Washington DC: US Department of Defense.
- Desgagné, R., 2000: The Prevention of Environmental Damage in Time of Armed Conflict, *Yearbook of International Humanitarian Law* 3, Cambridge, Cambridge University Press.
- Dickey, M.E. 2000: Biocruise: A Contemporary Threat, *The Counterproliferation Papers, Future Warfare Series No. 7*, September 2000, Alabama: Air University, Maxwell Air Force Base.
- Dinstein, Y. (2006): The ICRC customary international humanitarian law study, *Israel yearbook on human rights* 36, S. 1-15.
- Doswald-Beck, L. (Hrsg.), 1995: *San Remo Manual on International Law Applicable to Armed Conflicts at Sea*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Ephron, D., 2007: Hizbullah's Worrisome Weapon, *Newsweek*, Oktober 2007.
- Eser, A., Sieber, U. und Kreicker, H., (Hrsg.), 2003: *Nationale Strafverfolgung völkerrechtlicher Verbrechen*, Bd. 1, Freiburg: Max-Planck-Institut für ausländisches und nationales Strafrecht.

- European Security Strategy, 2003: A secure Europe in a better world, 12. Dezember 2003, Brüssel: <http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cmsUpload/78367.pdf> (21. 4. 2008).
- Feickert, A., 2005: Missile Survey: Ballistic and Cruise Missiles of Selected Foreign Countries, CRS Report for Congress, July 2005, Washington DC: Congressional Research Service.
- Fenrick, W. J., 2001: Targeting and Proportionality During the NATO Bombing Campaign Against Yugoslavia, *European Journal of International Law* 12, S. 489-502.
- Fenrick, W.J., 2007: The Targeted Killings Judgment and the Scope of Direct Participation in Hostilities, *Journal of International Criminal Justice*, 5, S. 332-338.
- Fidler, D.P., 1999: The international legal implications of "non-lethal" weapons, *Michigan Journal of International Law* 21, S. 51-100.
- Fleck, D., 2008: *The Handbook of International Humanitarian Law*, Oxford, 2nd edition.
- Freeman, J., 2004: Is Arms Control Law in Crisis?, *Journal of Conflict and Security Law* 9, S. 303-313.
- Frowein, J.A., Wolfrum, R., Schuster, G., (Hrsg.), 1995: *Völkerrechtliche Fragen der Strafbarkeit von Spionen aus der ehemaligen DDR. Gutachten erstattet im Auftrag des Bundesverfassungsgerichts und Beschluss des Gerichts vom 15. Mai 1995*, Berlin usw.
- Frye, E.L., 2005: Private Military Firms in the New World Order, *Fordham Law Review*, 73, S. 2607-2664.
- Fry, J.D., 2006: Contextualized Legal Reviews for the Methods and Means of Warfare, *Columbia Journal of Transnational Law* 44, S. 453-519.
- GAO (Government Accountability Office) 2004: *Nonproliferation – Improvements Needed for Controls on Exports of Cruise Missiles and Unmanned Aerial Vehicles Technology*, Januar 2004, Washington DC: U.S. Government Printing Office.
- Gasser, H.-P., 2007, *Humanitäres Völkerrecht – Eine Einführung*, Baden-Baden/Zürich, Nomos/Schulthess.
- Gormley, D.M., 2003: New Developments in Unmanned Air Vehicles and Land-Attack Cruise Missiles, *SIPRI Yearbook 2003*, Oxford: Oxford University Press, S. 409-432.
- Gormley, D.M., 2003a: UAVs and Cruise Missiles as Possible Terrorist Weapons, in: James Clay Moltz (ed.), *New Challenges in Missile Proliferation, Missile Defense and Space Security*, Occasional Paper No. 12, Juli 2003: Mountbatten Centre for International Studies.
- Gormley, D.M., 2003b: *Missile Defence Myopia: Lessons from the Iraq War*, *Survival*, Vol. 45, No. 4, Winter 2003.

- Gormley, D.M. 2005: Unmanned Air Vehicles as Terror Weapons: Real or Imagined?, NTI Issue Brief, Monterey: Center for Nonproliferation Studies, http://www.nti.org/e_research/e3_68a.html (20. 4. 2008).
- Gormley, D.M, Speier, R., 2003: Controlling Unmanned Air Vehicles: New Challenges, The Non-Proliferation Review, Sommer 2003, S. 1-14, <http://cns.miis.edu/pubs/npr/vol10/102/102gorm.pdf> (20. 7. 2008).
- Gross, E., 2002: Use of Civilians as a Human Shield: What Legal and Moral Restrictions Pertain to a War Waged by a Democratic State Against Terrorism?, Emory International Law Review, 16, S. 445-493 (Justice (2002) 33, S. 3-14).
- Hartmann, R., Heydrich, W., Meyer-Landrut, N., 1994: Der Vertrag über konventionelle Streitkräfte in Europa. Vertragswerk, Verhandlungsgeschichte, Kommentar, Dokumentation, Baden-Baden.
- Hauck, D.J., 2005: Pandora's Box Opened Wide: UAVs Carrying Genetic Weapons, Research Paper, Center for Strategy and Technology, Air War College, Air University, <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA463462&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf> (7. 7. 2008).
- Hays Parks, W. (2006): Means and Methods of Warfare, The George Washington International Law Review 38, S. 511-539.
- Heintschel von Heinegg, W., 2006: How to update the San Remo Manual on International Law applicable to Armed Conflicts at Sea, in: Dinstein, Y., Domb, F., (ed.): The ICRC customary international humanitarian law study, Israel Yearbook on Human Rights, Vol. 36, Leiden/Boston, Martinus Nijhoff Publishers, S. 119-148.
- Henckaerts, J.-M., Doswald-Beck, L., (Hrsg.), 2005: Customary International Humanitarian Law, Cambridge: Cambridge University Press.
- Hermann, R. 2007: Hochfliegende Pläne, Y. - Magazin der Bundeswehr, September 2007, <http://www.y-punkt.de/portal/a/ypunkt> (21. 4. 2008).
- Hölscher, C., Wolffgang, H.-M., 1998: The Wassenaar-Arrangement between international trade, non-proliferation, and export controls, Journal of world trade 32, S. 45-63.
- Ipsen, K. et al. (Hrsg.) 1999: Wehrrecht und Friedenssicherung. Festschrift für Klaus Dau, Neuwied/Kriftel, Luchterhand.
- Jackson, B.A., Frelinger, D.R., Lostumbo, M.J., Button, R.W., 2008: Evaluating Novel Threats to the Homeland – Unmanned Aerial Vehicles and Cruise Missiles, RAND National Defense Research Institute.

- Jaques, R. (Hrsg.), 2006: Issues in International Law and Military Operations, International Law Department Studies, Vol. 80, New Port/Rhode Island: Naval War College.
- Jaffer, J., 2002: Strengthening the Wassenaar export control regime, Chicago journal of international law 3, S. 519-525.
- Jones, C.A., 1997: Unmanned Aerial Vehicles (UAVS) an Assessment of Historical Operations and Future Possibilities, research paper, März 1997: Research Department, Air Command and Staff College.
- Kalbusch, M., 2003: Das Verbot von Landminen – Abrüstung durch Friedenssicherungsrecht, Sicherheit und Frieden, 21, S. 149-156.
- Kamp, K.-H., 2006: Prompt Global Strike – Eine neue US-Strategie nimmt Gestalt an, Analysen und Argumente Nr. 31, Berlin: Konrad Adenauer Stiftung.
- Kaukoranta, P., 2003: Negotiation of the Treaty on Open Skies Revisited, in: Petman, J., Klabbers, J., (Hrsg.), Nordic cosmopolitanism. Essays in international law for Martti Koskeniemi, Leiden etc. S. 371-389.
- Keller, H., Forowicz, M., 2008: A Tightrope Walk Between Legality and Legitimacy: An Analysis of the Israeli Supreme Court's Judgment on Targeted Killing, Leiden Journal of International Law, 21, S. 185-221.
- Kimbal, D., 2004: The Missile Technology Control Regime at a Glance, Arms Control Association, Fact Sheet September 2004, <http://www.armscontrol.org/factsheets/mtrc.asp?print> (21. 4. 2008).
- Korea Times, 2000: N. Korea, Iran Jointly Develop Missile: Report, Korea Times, Februar 2000.
- Kozaryn, L., 1998: Four Nights; 100 Targets, American Forces Press Service, 21 Dec. 1998, http://www.defenselink.mil/news/Dec1998/n12211998_9812212.html (20. 7. 2008)
- Kreicker, H. 2002: Die völkerstrafrechtliche Unverjährbarkeit und die Regelung im Völkerstrafgesetzbuch, Neue Justiz, 56, 6, S. 281-286.
- Krüger-Sprengel, F., 1999: Non-lethal weapons – ein Gebot des humanitären Völkerrechts, in: Ipsen, K., et al. (Hrsg.), Wehrrecht und Friedenssicherung. Festschrift für Klaus Dau, Neuwied usw., S. 121-135.
- Krutzsch, W., Trapp, R., 1994: A Commentary on the Chemical Weapons Convention, Dordrecht [u.a.].
- Kueter, J., Kleinberg, H., 2007: The Cruise Missile Challenge: Designing a Defense Against Asymmetric Threats, Washington DC: The Marshall Institute.
- Lang, J., 2001: Vertrag über konventionelle Streitkräfte in Europa, Baden-Baden.

- Larson, G.C., 2008: UAVs, or Nothing Can Go Wrong, Go Wrong, in Aviation Week, 29. Januar 2008, http://www.aviationweek.com/aw/generic/story_generic.jsp?channel=bca&id=news/bca0108p2.xml (21. 4. 2008).
- Lawand, K.A., 2006: Guide to the Legal Review of New Weapons, Means and Methods of Warfare. Measures to Implement Article 36 of Additional Protocol I of 1977, International Committee of the Red Cross, November 2006, <http://www.icrc.org/web/eng/siteeng0.nsf/html/p0902> (8. 7. 2008).
- Leake, C., 2006: Six-inch Talibanator – It's the SAS's newest weapon – a remotely controlled „toy“ plane that wipes out enemy snipers on impact. The Mail on Sunday, 16 July 2006, S. 39.
- Mahnken, T.G., 2005: The Cruise Missile Challenge, März 2005, Washington DC: Center for Strategic and Budgetary Assessments.
- Marauhn, T., 2002: The Debate About a Revolution in Military Affairs. A Comment in the Light of Public International Law, Die Friedens-Warte 77, S. 411-435.
- Marauhn, T., 2007: Dispute Resolution, Compliance Control and Enforcement of International Arms Control Law, in: Ulfstein, G., Marauhn, T., Zimmermann, A., (Hrsg.), Making Treaties Work, Cambridge, S. 243-272.
- Marauhn, T., Kirchner, S., 2006: Target Area Bombing, in: Ronzitti, N., und Venturini, G., (Hrsg.), The Law of Air Warfare. Contemporary Issues, Utrecht: Eleven International Publishers, S. 87-106.
- Marchisio, S., 2004: The 1986 United Nations Principles on Remote Sensing, in: Studi di diritto internazionale in onore di Gaetano Arangio-Ruiz (= Festschrift Gaetano Arangio-Ruiz), Neapel, S. 1311-1340.
- Miasnikov, E., 2005: Threat of Terrorism Using Unmanned Aerial Vehicles: Technical Aspects, 2005, Moscow: Center for Arms Control, Energy and Environmental Studies, Moscow Institute of Physics and Technology.
- Miles, D., 2004: Unmanned Aircraft Gain Starring Role in Terror War, American Forces Press Service, 9. 11. 2004.
- Moir, L., 1997: The Protection of Civilians During Non-International Armed Conflict, Cambridge, University of Cambridge.
- Moseley, T.M., 2003: Operation IRAQI FREEDOM – By The Numbers, 30. 4. 2003, Shawn AFB SC: USCENTAF, http://www.globalsecurity.org/military/library/report/2003/uscentaf_oif_report_30apr2003.pdf (20. 7. 2008).

- MTCR, 2007: MTCR Annex Handbook, http://www.fas.org/nuke/control/mtr/text/mtr_handbook.pdf (20. 7. 2008)
- MTCR, 2007a: MTCR Equipment, Software and Technology Annex, 23. März 2007, http://www.mtr.info/english/MTCR-TEM-2007-ANNEX-001_2.pdf (21. 4. 2008).
- Müller, H., u.a., 1996: Nukleare Abrüstung – Mit welcher Perspektive? Der internationale Diskurs über die nukleare Rüstungskontrolle und die Vision einer kernwaffenfreien Welt, HSFK Report 8/1996, Frankfurt/M.: HSFK.
- Müllerson, R., 2001: The ABM Treaty: Changed Circumstances, Extraordinary Events, Supreme Interests and International Law, *The International and Comparative Law Quarterly* 50, S. 509-539.
- National Air, 2006: Ballistic and Cruise Missile Threat, National Air and Space Intelligence Center, Wright-Patterson Air Force Base OH, März 2006.
- National Intelligence, 2001: Foreign Missile Developments and the Ballistic Missile Threat Through 2015, National Intelligence Council, Dezember 2001.
- Navy, 2007: UAV First Aboard a Destroyer, Navy News, 26. 11. 2007.
- Neuneck, G., Mutz, R., 2000: Vorbeugende Rüstungskontrolle, 2000, Baden-Baden: Nomos.
- Neuneck, G., Mölling, C., (Hrsg.), 2005: Die Zukunft der Rüstungskontrolle, Baden-Baden: Nomos.
- Oeter, S., 2007: Comment: Is the Principle of Distinction Outdated?, in: Heintschel von Heinegg, W., et al. (Hrsg.), *International Humanitarian Law Facing New Challenges. Symposium in Honour of Knut Ipsen*, Berlin/Heidelberg: Springer, S. 53-62.
- Operation, 1997: Operation Desert Storm: Evaluation of the Air Campaign, Letter Report, 6. 12. 1997.
- Parks, W. H., 2006: Means and methods of warfare, *The George Washington International Law Review* 38, S. 511-539, Washington.
- Pearson, G.S., 2002: The Biological and Toxin Weapons Convention Review Conference, *The CBW Conventions Bulletin* 58, S. 19-26.
- Petermann, T., Socher, M., Wennrich, C., 1997: Präventive Rüstungskontrolle bei Neuen Technologien. Utopie oder Notwendigkeit?, Berlin: edition sigma.
- Petermann, T., u.a., 2003: Militärische Nutzung des Weltraums und Möglichkeiten der Rüstungskontrolle im Weltraum, Berlin: Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB), <http://www.tab.fzk.de/de/projekt/zusammenfassung/ab85.htm> (20. 7. 2008).

- Petman, J., Klabbers, N., (Hrsg.), 2003: Nordic cosmopolitanism. Essays in international law for Martti Koskenniemi, Leiden, Brill Academic Publishers, S. 371-389.
- Pfanner, T., 2004: Military Uniforms and the Law of War, *Revue Internationale de la Croix-Rouge* 86, S. 93-124.
- Roberts, A., Guelff, R. (Hrsg.), 2000: Documents on the Law of War, 3rd ed., Oxford Oxford University Press.
- Ronzitti, N., 2006: The Codification of Law of Air Warfare, in: Ronzitti, N., Venturini, G., (Hrsg.), *The Law of Air Warfare. Contemporary Issues*, Utrecht: Eleven International, S. 3-15.
- Roscini, M., 2005: Targeting and Contemporary Aerial Bombardment, *The International and Comparative Law Quarterly*, 54, S. 411-444.
- Rötzer, F., 2002: Ferngesteuerte Waffensysteme senken die Angriffsschwelle, *Telepolis*, 12. 2. 2002, <http://www.heise.de/tp/r4/artikel/11/11821/1.html> (9. 5. 2008)
- Sandoz, Y., (Hrsg.) 1987: Commentary on the Additional Protocols of 8 June 1977 to the Geneva Conventions of 12 August 1949, Leiden/Boston, Martinus Nijhoff Publisher.
- Sassoli, M., 2002: State Responsibility for Violations of International Humanitarian Law, *Revue Internationale de la Croix-Rouge*, 84, S. 401-434.
- Satter, R.G., 2008: Experts Warn of Robotic Terrorism, Associated Press, 28. Februar 2008.
- Schaller, C., 2004: Die Unterbindung des Seetransports von Massenvernichtungswaffen, Berlin: SWP.
- Schelling, T.C., Halperin, M.H., 1961: Strategy and Arms Control, 1961, New York: Twentieth Century Fund.
- Schindler, D., Thomas, J. (Hrsg.), 1998: The Laws of Armed Conflicts: A Collection of Conventions, Resolutions and Other Documents, Leiden.
- Schircks, R., 2002: Die Martens'sche Klausel, Rezeption und Rechtsqualität, *Völkerrecht und Außenpolitik*, Bd. 60, Baden-Baden, Nomos.
- Schladebach, M., 2008: 40 Jahre Weltraumvertrag, *Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht* 27, S. 53-57.
- Schmitt, M.N., 2004: The Impact of High and Low-Tech Warfare on the Principle of Distinction, Briefing Paper, Harvard Programme on Humanitarian Policy and Conflict Research, (November 2003), reprinted in: Arnold und Hildbrands (ed.), *International Humanitarian Law and the 21st Century's Conflicts: Changes and Challenges*, Lausanne: Editions Interuniversitaires Suisses (2005), <http://www.michaelschmitt.org/images/Hi%20Tech%20Low%20Tech%20Schmitt%20for-matted.doc> (7. 7. 2008).

- Schmitt, M.N., 2005: Precision Attack and International Humanitarian Law, *International Review of the Red Cross*, 87, Geneva, S. 445-466.
- Schmitt, M.N., 2005a: Humanitarian Law and Direct Participation in Hostilities by Private Contractors or Civilian Employees, *Chicago Journal of International Law*, 5, S. 511-546.
- Schmitt, M.N., 2004: Targeting and Humanitarian Law, in: Dinstein, Y., Domb, F., (ed.), *Israel Yearbook on Human Rights Vol. 34*, Leiden/Boston, Martinus Nijhoff Publishers, S. 59-104.
- Schmitt, M.N., 2005: Humanitarian Law and Direct Participation in Hostilities by Private Contractors or Civilian Employees, *Chicago Journal of International Law*, Vol. 5, S. 511-546.
- Schmitt, M.N., 2007: Asymmetrical warfare and International Humanitarian Law, in: Heintschel von Heinegg, W., et al. (Hrsg.), *International Humanitarian Law Facing New Challenges. Symposium in Honour of Knut Ipsen*, Berlin/Heidelberg: Springer, S. 11-48.
- Sharkey, N., 2007: Automated Killers and the Computing Profession, *Computer*, Vol. 40, No. 11, S. 122-124.
- Sparrow, R., 2007: Killer Robots, *Journal of Applied Philosophy*, Vol. 24, No. 1, S. 62-77.
- Spitzer, H., 2004: Der Vertrag über den Offenen Himmel, *OSZE-Jahrbuch* 10, S. 395-407.
- Sulmasy, G.M., 2007: Counterintuitive: Intelligence Operations and International Law, *Michigan Journal of International Law*, 28, S. 625-638.
- Thomas, E., Hosenball, M., (2002): The Opening Shot, *Newsweek*, 18. November 2002, S. 48.
- Tomuschat, C., 2004: Gezielte Tötungen (Targeted Killings), *Vereinte Nationen*, Bd. 52, Nr. 4, S. 136-140, http://www.dgyn.de/fileadmin/user_upload/PUBLIKATIONEN/ZeitschriftVN/VN_2004/vn200404.pdf (7. 7. 2008).
- Troschke, J., 1967: Die Bedeutung der Uniformen und Kennzeichen im Kriegsvölkerrecht, Dissertation, Universität Würzburg.
- Turns, D., 2002: At the "vanishing point" of International Humanitarian Law. Methods and Means of Warfare in Non-International Armed Conflicts, *German Yearbook of International Law* 45 (2002), S. 115-148.
- von Kries, W., 1991: Die militärische Nutzung des Weltraums, in: Böckstiegel, K.-H. (Hrsg.), *Handbuch des Weltraumrechts*, Köln.

- Wassenaar, 2007: Guidelines & Procedures, including the Initial Elements as amended and updated in 2003, 2004 and 2007, <http://www.wassenaar.org/guidelines/index.html> (20. 7. 2008).
- Wassenaar, 2007a: List of Dual-Use Goods and Technologies and Munitions List (Update 2007), über http://www.wassenaar.org/publicdocuments/index_CL.html (20. 7. 2008).
- Watts, B.D., 2005: Long-Range Strike: Imperatives, Urgency and Options, Washington DC: Center for Strategic and Budgetary Assessments.
- Weber, S., 2004: Neue Waffen und das Völkerrecht – Überlegungen zur Handhabung des Artikels 36 des I. Zusatzprotokolls zu den Genfer Abkommen vom 12. August 1949, in Fischer, H., et al.: Festschrift für Dieter Fleck, Berlin: Berliner Wissenschaftsverlag, S. 689-709.
- Wheelis, M., Dando, M., 2002: On the Brink: Biodefence, Biotechnology and the Future of Weapons Control, The CBW Conventions Bulletin, 58, S. 3-7.
- White House, 2006: The National Security Strategy, Washington DC: White House, <http://www.whitehouse.gov/nsc/nss/2006/> (1. 9. 2008).
- Williams, S.M., 2001: Reflections and Suggestions on Remote Sensing and International Law, Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht, 50, S. 409-418.
- WMD Commission, 2006: The WMDC Report – Weapons of Terror – Freeing the World of Nuclear, Biological and Chemical Arms, http://www.wmdcommission.org/files/Weapons_of_Terror.pdf (20. 7. 2008).
- Wolter, D., 2003: Grundlagen „Gemeinsamer Sicherheit“ im Weltraum nach universellem Völkerrecht, Berlin.
- Zöckler, M.C., 1998: Commentary on Protocol IV on Blinding Laser Weapons, in: McDonald et al. (ed.), Yearbook of International Humanitarian Law 1, Cambridge, Cambridge University Press, S. 333-340.

5 Unbemannte Systeme aus verkehrsrechtlicher Perspektive (Modul 5)

5.1 Vorbemerkung

Unbemannte Systeme sind nicht nur für militärische Zwecke bedeutsam. Sie haben auch für polizeiliche Einsätze⁵³⁸ sowie für Aufgaben der Grenzüberwachung und des Zolls Bedeutung gewonnen. Selbst in der Landwirtschaft⁵³⁹ oder zur Umweltüberwachung⁵⁴⁰ werden derartige Systeme eingesetzt.⁵⁴¹ Vor diesem Hintergrund ist es überraschend, dass die rechtliche Auseinandersetzung mit UMS noch am Anfang steht.⁵⁴² Jüngst ist zumindest die Debatte über die luftrechtliche Einordnung unbemannter Luftfahrzeugsysteme intensiver geworden.⁵⁴³ In Anbetracht dessen stellen die nachfolgenden Ausführungen nur eine Problemskizze dar. Differenzierte Antworten können nur auf der Grundlage intensiverer Diskussionen in Fachkreisen unter Einbeziehung politischer Akteure gefunden werden. Ziel dieses Teils des vorliegenden Gutachtens ist neben einer knappen Bestandsaufnahme der geltenden Rechtslage die Herausarbeitung von Regelungslücken, um so gegebenenfalls Regelungsbedarf zu identifizieren und Anregungen für die Lückenfüllung zu geben.

Die rechtliche Analyse muss dabei in vierfacher Hinsicht differenzieren, nämlich erstens hinsichtlich der Arten von unbemannten Systemen (Luft-, Boden- oder Seefahrzeugsysteme), zweitens in Bezug auf die Nutzung (militärisch, polizeilich, zivil), drittens hinsichtlich des Regelungsansatzes (Zulassung und Betrieb) und viertens hinsichtlich der Regelungsebene (innerstaatlich, europarechtlich, völkerrechtlich). Im Interesse einer besseren Lesbarkeit werden die nachfolgenden Ausführungen die entsprechenden Differenzierungen ausgehend von den Arten unbemannter Systeme vornehmen. Überlegungen zu möglichen und gegebenenfalls notwendigen Änderungen der Rechtslage werden abschließend skizziert.

⁵³⁸ S. dazu etwa Tagesspiegel, 2008; vgl. dazu auch die Informationen des Sächsischen Innenministeriums unter <http://www.fussballtrikot.sachsen.de/> und <http://www.medienservice.sachsen.de/news/28454> (beide 1. 9. 2008). Allgemein auch Robinson, 2007; Tasikas, 2004.

⁵³⁹ Zum Einsatz von UAVs in der Landwirtschaft statt aller Herwitz et al., 2004, und Reidelstürz et al., 2007.

⁵⁴⁰ Vgl. beispielsweise Naeem et al., 2007.

⁵⁴¹ Zu den Entwicklungen im Bereich unbemannter Bodenfahrzeugsysteme vgl. den schon in den 1990er Jahren erschienenen Sammelband Hebert et al., 1997.

⁵⁴² Außerhalb des Luftrechts (s. dazu infra) gibt es kaum Darstellungen; vgl. aber Henderson, 2006.

⁵⁴³ S. hierzu insbesondere Giemulla, 2007.

5.2 Die rechtliche Regelung unbemannter Luftfahrzeugsysteme

Zulassung und Betrieb von Luftfahrzeugen sind gegenständlich dem Luftrecht zuzuordnen. Im Zentrum des geltenden Zulassungsrechts steht der Begriff des Luftfahrzeugs. Dabei ist zunächst zu klären, ob unbemannte Luftfahrzeugsysteme Luftfahrzeuge im Sinne der einschlägigen Bestimmungen sind. Hier kommen in erster Linie das Luftverkehrsgesetz⁵⁴⁴ und die Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung⁵⁴⁵ zur Anwendung. Soweit europäisches Gemeinschaftsrecht Anwendungsvorrang genießt, ist auch dieses zu beachten.⁵⁴⁶ Einschlägige völkerrechtliche Vereinbarungen genießen zwar im Regelfall keine unmittelbare Geltung; es ist aber zu prüfen, ob und inwieweit das deutsche und das europäische Recht mit den jeweiligen völkerrechtlichen Grundlagen in Einklang stehen.⁵⁴⁷

5.2.1 Die rechtliche Regelung des Fluggeräts

Eine abstrakte Definition des Luftfahrzeugs enthält § 1 Abs. 1 LuftVG nicht. Stattdessen stellt die Vorschrift verschiedene Luftfahrzeuge in einer Liste zusammen. Will man unbemannte Luftfahrzeugsysteme in dieses System einordnen, so kommen drei unterschiedliche Kategorien in Frage: Flugzeuge und Drehflügler, Flugmodelle sowie „sonstige für die Benutzung des Luftraums bestimmte Geräte, sofern sie in Höhen von mehr als dreißig Metern über Grund oder Wasser betrieben werden können“.

Auf den ersten Blick lassen sich die meisten unbemannten Luftfahrzeugsysteme jedenfalls von ihrem äußeren Erscheinungsbild her den Flugzeugen und Drehflüglern zuordnen. UAVs unterscheiden sich aber von diesen dadurch, dass es an einer Besatzung fehlt und deshalb nicht nur das Luftfahrzeug an sich zulassungsbedürftig ist, sondern auch die Bodenstation und die Datenverbindung zwischen derselben und dem Luftfahrzeug. Man könnte diesen Unterschied dann für unbeachtlich halten, wenn man Bodenstation und Datenverbindung als eine Art ausgelagertes Cockpit und somit als integralen Bestandteil des Luftfahrzeugs ansehen würde. Dies vermag allerdings nicht zu überzeugen. Nicht nur handelt es sich dabei um eine „gekünstelte(...) Hilfskonstruktion(...)“⁵⁴⁸; eine solche Auslegung würde auch dem Regelungszweck des LuftVG nicht gerecht, weil es bei der Zulassung immer auch um eine

⁵⁴⁴ Luftverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 10. Mai 2007 (BGBl. I S. 698), zuletzt geändert durch Artikel 9 Abs. 20 des Gesetzes vom 23. November 2007 (BGBl. I S. 2631).

⁵⁴⁵ Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999 (BGBl. I S. 610), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 13. Juni 2007 (BGBl. I S. 1048 (2203)).

⁵⁴⁶ Anwendungsvorrang bedeutet, dass das mitgliedsstaatliche (nationale) Recht im Fall einer Kollision mit dem Gemeinschaftsrecht als nicht anwendbar angesehen wird. Zum Anwendungsvorrang vgl. Herdegen, 2008, Rn. 228 ff.

⁵⁴⁷ Statt aller Schweitzer, 2008, S. 16-35.

⁵⁴⁸ Giemulla, 2007, S. 201.

spezifische Auseinandersetzung mit den technischen Besonderheiten des Luftfahrzeugs geht. Flugzeuge und unbemannte Luftfahrzeugsysteme unterscheiden sich aber technisch und im Hinblick auf die damit verbundenen Gefahren kategorisch. Würde man UAVs gleichwohl als Flugzeuge einordnen, wären eine Muster- und eine Verkehrszulassung erforderlich.⁵⁴⁹

Eine andere Möglichkeit könnte man darin sehen, unbemannte Luftfahrzeugsysteme als Flugmodelle zu qualifizieren (§ 1 Abs. 1 Nr. 9 LuftVG). Terminologisch scheint dies jedenfalls eher möglich zu sein.⁵⁵⁰ Der Verordnungsgeber hat den Begriff des „Flugmodells“ allerdings in der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung weiter spezifiziert. § 1 Abs. 1 Nr. 8 LuftVZO definiert Flugmodelle als „Flugmodelle mit einer höchstzulässigen Startmasse über 25 kg (unbemannte Luftfahrzeuge, die in Sichtweite des Steuerers ausschließlich zum Zweck des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben werden)“. Diese Vorschrift ist in ihrer gegenwärtigen Fassung nur für zivil „zum Zweck des Sports oder Freizeitgestaltung“ betriebene Flugmodelle anwendbar. Wäre aber viel gewonnen, wenn man diese Zweckbindung streichen würde? Jedenfalls würde man dann diejenigen unbemannten Luftfahrzeugsysteme erfassen können, die „in Sichtweite des Steuerers“ betrieben werden und die sich innerhalb der von der Verordnung normierten Gewichtskategorien bewegen. Flugmodelle von bis zu 25 kg Gewicht sind danach zertifizierungsfrei. Bei einem Gewicht von über 25 kg bedarf es einer Muster- und einer Stückprüfung nach dem Stand der Technik. Dies ergibt sich aus § 3 Abs. 2 LuftVZO, wonach für das Muster die Nachweise zu erbringen sind, dass „1. die Anforderungen der Verkehrssicherheit (Lufttüchtigkeit) nach der Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät erfüllt sind, 2. die technische Ausrüstung eines motorgetriebenen Luftfahrzeugs so gestaltet ist, (und) dass die durch seinen Betrieb entstehenden Lärm- und die Abgasemissionen das nach dem jeweiligen Stand der Technik unvermeidbare Maß nicht übersteigen“. Die Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät (LuftGerPV)⁵⁵¹ sieht in ihrem § 9 Abs. 4 für Flugmodelle mit einer höchstzulässigen Startmasse bis zu 150 kg eine Prüfung der Übereinstimmung des Luftfahrtgeräts mit dem Stand der Technik vor. Für Flugmodelle über 150 kg Startmasse verweist § 9 Abs. 2 LuftGerPV auf die Bestimmungen der JAR-21,⁵⁵² die vom Zusammenschluss der zivilen Luftfahrtbehörden von 34 europäischen Ländern (zugleich ein technisches Gremium innerhalb der Europäischen Zivilluftfahrt-Konferenz) entwickelt wor-

⁵⁴⁹ Zur Musterzulassung vgl. § 2 LuftVG.

⁵⁵⁰ Skeptisch Giemulla, 2007, S. 201.

⁵⁵¹ Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät (Artikel 2 der Verordnung zur Änderung luftrechtlicher Vorschriften über die Entwicklung, Zulassung, Herstellung und Instandhaltung von Luftfahrtgerät) vom 3. August 1998 (BGBl. I S. 2010, 2011), zuletzt geändert durch Artikel 4 der Verordnung vom 17. November 2006 (BGBl. I S. 2644).

⁵⁵² JAR-21 (= Joint Aviation Requirements), BAnz. Nr. 137a vom 28. Juli 1998.

den sind. Dieser Verweis tritt allerdings aufgrund des Anwendungsvorrangs⁵⁵³ von europäischem Gemeinschaftsrecht im Geltungsbereich der EASA⁵⁵⁴-Grundverordnung gegenüber den gemeinschaftsrechtlichen Bestimmungen zurück. Die am 8. April 2008 in Kraft getretene neue EASA-Grundverordnung vom 20. Februar 2008⁵⁵⁵ (wie auch schon ihre Vorgängerverordnung⁵⁵⁶) und die darauf aufbauenden Verordnungen genießen samt Anhängen aufgrund von Artikel 249 EG unmittelbare Geltung. Nach ihrem Artikel 1 Abs. 1 gilt die EASA-Grundverordnung für Konstruktion, Herstellung, Instandhaltung und Betrieb von luftfahrttechnischen Erzeugnissen einschließlich Luftfahrzeugen sowie für damit befasste Personen und Organisationen.⁵⁵⁷ Unbemannte Luftfahrzeuge mit einer Betriebsmasse von weniger als 150 kg werden allerdings von ihr nicht erfasst.⁵⁵⁸

Qualifiziert man unbemannte Luftfahrzeugsysteme allerdings weder als Flugzeuge und Drehflügler noch als Flugmodelle im Sinne von § 1 Abs. 2 LuftVG, so kommt der als Generalklausel ausgestaltete Auffangtatbestand des § 1 Abs. 1 Nr. 11 LuftVG in Betracht. Dort ist die Rede von „sonstige[n], für die Benutzung des Luftraums bestimmte[n] Geräte[n], sofern sie in Höhen von mehr als dreißig Metern über Grund und Wasser betrieben werden können“. Dieser Begriff ist ohne Zweifel geeigneter als der des Flugmodells. Es dürfte auch unerheblich sein,⁵⁵⁹ dass der Gesetzgeber bei der Schaffung dieser Vorschrift Ultraleichtflugzeuge, Hängegleiter und ähnliche Fluggeräte im Blick hatte, nicht aber UAVs.⁵⁶⁰ Bis zu einem Startgewicht von 150 kg ist für dieses Fluggerät keine Musterzulassung erforderlich; auch eine Verkehrszulassung ist nach geltendem Recht nicht erforderlich.⁵⁶¹ Darüber hinaus findet die EASA-Grundverordnung Anwendung.

⁵⁵³ Vgl. dazu Herdegen, 2008, Rn. 228 ff.

⁵⁵⁴ Zur EASA vgl. statt aller Stiehl, 2004, S. 312 ff.

⁵⁵⁵ Verordnung (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Februar 2008 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt 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, ABl. L 79 vom 19.3.2008, S. 1–49.

⁵⁵⁶ Verordnung (EG) Nr. 1592/2002 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 15. Juli 2002 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Europäischen Agentur für Flugsicherheit, ABl. L 240 vom 7.9.2002, S. 1–21, zuletzt geändert durch die Verordnung (EG) Nr. 334/2007 der Kommission vom 28.03.2007 zur Änderung der VO (EG) Nr. 1592/2002, aufgehoben durch die in der nachfolgenden Fußnote genannte Verordnung.

⁵⁵⁷ Die neue EASA-Grundverordnung (EG) Nr. 216/2008 gilt ausweislich ihres Art. 1 für „die Konstruktion, die Herstellung, die Instandhaltung und den Betrieb von luftfahrttechnischen Erzeugnissen, Teilen und Ausrüstungen sowie für Personen und Organisationen, die mit der Konstruktion, Herstellung und Instandhaltung dieser Erzeugnisse, Teile und Ausrüstungen befasst sind“.

⁵⁵⁸ Vgl. Anhang II, lit. i, der Verordnung (EG) Nr. 216/2008.

⁵⁵⁹ Eher kritisch Giemulla, 2007, S. 203.

⁵⁶⁰ Vgl. hierzu im Einzelnen Giemulla, 2005, § 1 Rn. 41 ff.

⁵⁶¹ Dies liegt daran, dass § 6 Abs. 1 Nr. 9 LuftVZO eine solche Verkehrszulassung nur fordert, wenn das Luftfahrzeug nach der LuftGerPV prüfpflichtig ist. Das ist aber für diese Geräte gegenwärtig nicht der Fall.

Es bleibt danach als **Zwischenergebnis** zunächst festzuhalten, dass zivil genutzte unbemannte Luftfahrzeugsysteme auf der Grundlage des geltenden Rechts nicht als Flugzeuge und Drehflüger zu qualifizieren sind. Wenn man sie als Flugmodelle einordnet, dann erfasst das geltende deutsche Recht nur solche, die (1) zum Zweck des Sports oder der Freizeitgestaltung genutzt werden, (2) in Sichtweite des Steuerers betrieben werden und (3) ein Startgewicht bis zu 150 kg haben. Für diese Flugmodelle sind eine Muster- und eine Stückprüfung nach dem „Stand der Technik“ erforderlich. Qualifiziert man zivil genutzte unbemannte Luftfahrzeugsysteme dagegen als „sonstige(...), für die Benutzung des Luftraum bestimmte(...) Gerät(e)“, dann sind diese bis zu einem Startgewicht von 150 kg nicht zertifizierungspflichtig.

Für Flugmodelle über 150 kg und für sonstige für die Benutzung des Luftraums bestimmte Geräte mit einem Startgewicht von über 150 kg ist das europäische Zulassungsrecht auf der Grundlage der EASA-Grundverordnung und der damit zusammenhängenden gemeinschaftsrechtlichen Verordnungen maßgeblich. Zur EASA-Grundverordnung ist Folgendes festzuhalten:⁵⁶² Hauptziel der EASA-Grundverordnung ist die Gewährleistung größtmöglicher Sicherheit in der europäischen Zivilluftfahrt (Art. 2 Abs. 1 der Verordnung). Sie schafft ein einheitliches Zulassungsverfahren, das Kosten- und Wettbewerbsvorteile ermöglicht und Doppelarbeit vermeiden hilft. Die Verordnung schafft nicht nur ein gewisses Maß an Rechtsvereinheitlichung im Bereich der Zulassung, sondern überträgt der Gemeinschaftsebene auch exekutive Aufgaben. Art. 4 der Verordnung regelt den Anwendungsbereich. Danach müssen grundsätzlich alle Luftfahrzeuge, die faktisch einen Bezug zu einem Mitgliedstaat haben, der Verordnung genügen. Ausgenommen sind lediglich Luftfahrzeuge in hoheitlicher Verwendung sowie solche, die im Anhang II der Verordnung aufgeführt sind. Dies betrifft insbesondere historische Luftfahrzeuge, solche für Forschungs- und Versuchszwecke, aber auch – gemäß Buchst. i – „unbemannte Luftfahrzeuge mit einer Betriebsmasse von nicht mehr als 150 kg“. Die wesentlichen technischen Anforderungen beinhaltet Anhang I der Verordnung, darunter die Integrität für alle Flugbedingungen und der Erhalt der Lufttüchtigkeit durch Wartung und Instandsetzung. Sichergestellt wird die Einhaltung dieser Vorschriften insbesondere durch Muster- und Organisationszulassungen.⁵⁶³

Es stellt sich als nächstes die Frage, welche Bestimmungen für unbemannte Luftfahrzeugsysteme gelten, die militärisch, zoll- oder polizeidienstlich genutzt werden. Dabei ist zunächst festzuhalten, dass das europäische Zulassungsrecht nach Artikel 1 Abs. 2 der EASA-Grundverordnung nicht bei militär-, zoll-, polizeidienstlicher oder ähnlicher Verwendung gilt. Damit

⁵⁶² Vgl. dazu im Einzelnen Riedel, 2006.

⁵⁶³ Vgl. zu den Inhalten der Vorläuferverordnung, die weitgehend von der neuen Verordnung übernommen wurden, Stiehl, 2004, S. 322 ff.

ist bei entsprechender Verwendung auch für Flugmodelle und sonstige Geräte mit einem Startgewicht von über 150 kg das innerstaatliche Recht einschlägig. Der deutsche Gesetzgeber und die deutsche Verwaltung müssen allerdings wie auch die anderen Mitgliedstaaten dafür sorgen, „dass bei diesen dienstlichen Verwendungen so weit als durchführbar den Zielen dieser Verordnung gebührend Rechnung getragen wird“.⁵⁶⁴ Im ersten der Erwägungsgründe werden die Ziele der Verordnung Nr. 216/2008 wie folgt formuliert: „Im Bereich der Zivilluftfahrt sollte für die europäischen Bürger jederzeit ein einheitliches und hohes Schutzniveau gewährleistet sein; hierzu sind gemeinsame Sicherheitsvorschriften zu erlassen, und es ist sicherzustellen, dass Erzeugnisse, Personen und Organisationen, die in der Gemeinschaft im Umlauf bzw. tätig sind, diese Vorschriften sowie die geltenden Umweltschutzvorschriften einhalten. (...)“.

§ 30 Abs. 1 LuftVG bestimmt: „Die Bundeswehr, die Bundespolizei, die Polizei sowie die auf Grund völkerrechtlicher Verträge in der Bundesrepublik Deutschland stationierten Truppen dürfen von den Vorschriften des Ersten Abschnitts dieses Gesetzes – ausgenommen die §§ 12, 13 und 15 bis 19 – und den zu seiner Durchführung erlassenen Vorschriften abweichen, soweit dies zur Erfüllung ihrer besonderen Aufgaben unter Berücksichtigung der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung erforderlich ist.“ Diese Vorschrift führt dazu, dass für polizei- und militärdienstlich genutzte UAVs von den Bestimmungen des LuftVG „zur Erfüllung ihrer besonderen Aufgaben“ „unter Berücksichtigung der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung“ abgewichen werden kann. Hieraus ergibt sich Folgendes: (1) § 30 Abs. 1 LuftVG ist Rechtsgrundlage für entsprechende Ausführungsbestimmungen von Bundeswehr, Bundespolizei und Polizei.⁵⁶⁵ (2) Abweichungen müssen „so weit als durchführbar den Zielen (...) (der EASA-Grund-) Verordnung gebührend Rechnung (...) tragen“ (Artikel 1 Abs. 2 EASA-Grundverordnung). (3) Abweichungen müssen der öffentlichen Sicherheit oder Ordnung auch nach deutschem Recht Rechnung tragen. Eine cursorische Prüfung der einschlägigen „Zentralen Dienstvorschriften“ (ZDv) der Bundeswehr⁵⁶⁶ lässt jedenfalls keine grundlegenden Bedenken

⁵⁶⁴ So Art. 1 Abs. 2 der Verordnung (EG) Nr. 216/2008.

⁵⁶⁵ Die von Giumulla, 2007, S. 199 vertretene Auffassung, dass alle entsprechenden Dienstvorschriften mangels einer Ermächtigung, vom europäischen Recht abzuweichen, in ein rechtliches Vakuum fallen und daher nicht gültig seien, vermag nicht zu überzeugen. Eine solche These wäre nur denkbar, wenn das Gemeinschaftsrecht Geltungsvorrang vor dem innerstaatlichen Recht genießen würde. Das Gemeinschaftsrecht genießt nur Anwendungsvorrang. § 30 Abs. 1 LuftVG kann in den Bereichen angewendet werden, in denen die EASA-Grundverordnung und sonstiges Gemeinschaftsrecht ohnehin keine Anwendung finden, was ausweislich des § 1 Abs. 2 der EASA-Grundverordnung bei militär-, zoll-, polizeidienstlicher und ähnlicher Verwendung der Fall ist.

⁵⁶⁶ Zulassungsordnung für Führer/Führerinnen unbemannter Luftfahrzeuge der Bundeswehr (ZDv 19/13), nachgewiesen bei Militärisches Luftfahrthandbuch Deutschland Gen 1.6-1 vom 22.11.2007, S. 1 (Nachweis, nicht aber der Text online abrufbar unter http://www.mil-aip.de/pams/aip/gen/ET_GEN_1_6_en.pdf, 1. 9. 2008).

vor diesem Hintergrund erkennen. So heißt es in der geltenden Fassung der ZDv 19/1 unter Ziff. 103: „Auf Verkehrssicherheit sind zu prüfen: ... unbemannte Luftfahrzeuge, sofern sie militärisches Übungsgelände mit dem zugehörigen Luftraumbeschränkungsgebiet verlassen“. Der Entwurf der Neufassung der ZDv 19/1 sieht in Ziff. 203 vor: „Auf Verkehrssicherheit/Lufttüchtigkeit sind zu prüfen: – auf Verkehrssicherheit: ... unbemannte Luftfahrzeuge, sofern deren Einsatz außerhalb eines militärischen Übungsgeländes mit dem zugehörigen Luftraumbeschränkungsgebiet vorgesehen ist; bei einer Abflugmasse unter 5 kg entscheidet Ltr ML, ob das unbemannte Luftfahrzeuge prüf- und zulassungspflichtig ist ...“. Außerdem heißt es in Anlage I des Entwurfs der Neufassung: „Das unbemannte Luftfahrzeug selbst ist auf Verkehrssicherheit, alle sonstigen hier genannten Systemanteile sind auf Lufttüchtigkeit zu prüfen“⁵⁶⁷. Bundes- und Landespolizeigesetze enthalten regelmäßig keine Bestimmungen über UMS. Inwieweit bundes- oder landespolizeiliche Ausführungsbestimmungen existieren, konnte im Rahmen dieser Studie nicht abschließend geklärt werden. Zu empfehlen ist allerdings, dass für Landes- und Bundespolizeibehörden Verwaltungsvorschriften oder aber Rechtsverordnungen in Kraft gesetzt werden, die in Anlehnung an den ZDv-Entwurf vorsehen, dass polizeidienstlich eingesetzte unbemannte Luftfahrzeuge auf Verkehrssicherheit und alle sonstigen Systemanteile auf Lufttüchtigkeit zu prüfen sind.

Als **Zwischenergebnis** lässt sich hinsichtlich militär- und polizeidienstlicher Verwendung festhalten, dass unabhängig vom Startgewicht das europäische Gemeinschaftsrecht insoweit nicht zur Anwendung kommt, dass vielmehr die Bestimmungen des LuftVG einschlägig sind. § 30 Abs. 1 LuftVG sieht die Möglichkeit vor, von den im Übrigen geltenden Bestimmungen abzuweichen. Maßgeblich sind daher innerhalb der Bundeswehr die einschlägigen ZDv, vergleichbare Vorschriften der Bundespolizei sowie einschlägiges Landespolizeirecht. Die jeweiligen Abweichungen müssen allerdings insbesondere den Anforderungen der öffentlichen Sicherheit und Ordnung Rechnung tragen.

Die Rechtslage ist insgesamt zersplittert und unübersichtlich, teilweise auch nicht problemadäquat. Hieraus ergibt sich noch näher zu erörternder (Neu-) Regelungsbedarf.

5.2.2 Die rechtliche Regelung des Bedienungspersonals, insbesondere des Steuerers

Auch beim Bedienungspersonal ergibt sich zunächst ein definitorisches Problem. Es dürfte kaum möglich sein, das Bedienungspersonal unbemannter Luftfahrzeugsysteme unter den

⁵⁶⁷ Zitiert nach WTD, 2008. Dort finden sich auch weitere Einzelheiten zur Praxis der Streitkräfte.

Begriff „Luftfahrer“ (§ 4 Abs. 1 LuftVG i.V.m. § 20 Abs. 1 LuftVZO) zu subsumieren.⁵⁶⁸ Sinn und Zweck der einschlägigen Vorschriften legen dies schon deshalb nicht nahe, weil das Bedienungspersonal unbemannter Luftfahrzeugsysteme nicht den strengen gesundheitlichen Anforderungen eines Luftfahrers genügen muss, andererseits aber an seine Zuverlässigkeit⁵⁶⁹ und an die spezifische Beanspruchung aufgrund der Bildschirmtätigkeit strengere Anforderungen gestellt werden müssen.⁵⁷⁰ Dagegen kommt eine Zuordnung zum sonstigen Luftfahrtpersonal nach § 4 Abs. 2 LuftVG durchaus in Betracht. Einschlägig ist dann die Verordnung über das Luftfahrtpersonal,⁵⁷¹ die in ihren §§ 115 und 116 Ausbildungs- und Lizenzierungsvoraussetzungen normiert. Für den militärischen Bereich ist auf den Entwurf einer „Zulassungsordnung für Führer/Führerinnen unbemannter Luftfahrzeuge der Bundeswehr“ (ZDv 19/13) zu verweisen.⁵⁷² Zuständig für die Erteilung der Lizenz bei Flugmodellen bis 150 kg ist der Deutsche Modellflugverband;⁵⁷³ für sonstiges Luftfahrtgerät ist die Landesluftfahrtbehörde zuständig.⁵⁷⁴

Auch hier stellt sich die geltende Rechtslage zumindest als nicht in jeder Hinsicht problemadäquat dar, woraus sich ein begrenzter (Neu-)Regelungsbedarf ergibt.

5.2.3 Die rechtliche Regelung der Teilnahme am Luftverkehr

Die luftverkehrsrechtlichen Vorschriften enthalten in § 4a LuftVO⁵⁷⁵ eine sehr weitgehende Ausnahmebestimmung. Dort heißt es: „Auf den Betrieb von Luftsportgerät und unbemanntem Luftfahrtgerät finden die Vorschriften dieser Verordnung Anwendung, soweit sich nicht aus den Besonderheiten dieser Luftfahrtgeräte, insbesondere der Freistellung von der Verkehrszulassung und dem Flugplatzzwang, der besonderen Betriebsform oder der fehlenden Besatzung die Unanwendbarkeit einzelner Vorschriften ergibt“. Grundsätzlich stellt dies die Berücksichtigung der einschlägigen luftverkehrsrechtlichen Vorschriften in das Ermessen des Steuerers bzw. des Bodenpersonals unbemannter Luftfahrzeugsysteme, das im Einzelfall darüber entscheiden muss, „ob und inwieweit denn eine konkrete Situation die Unanwendbar-

⁵⁶⁸ So auch Giemulla, 2007, S. 205.

⁵⁶⁹ Giemulla, 2007, S. 205, verweist diesbezüglich zu Recht darauf, dass beim Bedienungspersonal „die eigene physische Beteiligung an dem Flugvorgang als disziplinierendes Element wegfällt“.

⁵⁷⁰ Zu Recht verweisen Giemulla, 2007, S. 205, und Kaiser, 2006, S. 356, darauf, dass das (Boden-)Bedienungspersonal unbemannter Luftfahrzeugsysteme mehr Ähnlichkeit mit einem Fluglotsen als mit einem Luftfahrer hat.

⁵⁷¹ Verordnung über Luftfahrtpersonal in der Fassung der Bekanntmachung vom 13. Februar 1984 (BGBl. I S. 265), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 13. Juni 2007 (BGBl. I S. 1048 (2203)).

⁵⁷² Vgl. hierzu Fn. 566.

⁵⁷³ Vgl. § 22 Abs. 1 Nr. 3 LuftVZO.

⁵⁷⁴ § 22 Abs. 1 Nr. 1 LuftVZO.

⁵⁷⁵ Luftverkehrs-Ordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 27. März 1999 (BGBl. I S. 580), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 17. November 2006 (BGBl. I S. 2644).

keit der genannten Vorschriften nahelegt“⁵⁷⁶. Für den militärischen Bereich sind dabei die von der Bundeswehr erlassenen Vorschriften zu beachten. Im zivilen Bereich dagegen verbleibt letztlich die Entscheidungslast beim Steuerer. Dies wird in der Literatur zum Teil scharf kritisiert. So bezeichnet Elmar Giemulla dies als „weder handhabbar, noch verantwortbar oder zumutbar – abgesehen von dem hiermit einhergehenden, unvermeidbaren Risiko für die öffentliche Sicherheit“⁵⁷⁷.

Am besten lässt sich die Problematik anhand der in der LuftVO niedergelegten Ausweichregeln, insbesondere anhand von § 13 Abs. 2 LuftVO deutlich machen.⁵⁷⁸ Dabei geht es nicht um klar definierte Ausweichregeln,⁵⁷⁹ die das Bedienungspersonal (oder eben den automatisierten Vorgang) vor eine Entscheidung zwischen zwei Alternativen stellt. Vielmehr geht es „um eine differenzierte Einschätzung der Lage und eine ebenso differenzierte Entscheidung“⁵⁸⁰. Dass dies nicht so ohne weiteres möglich ist, liegt auf der Hand. Lässt sich etwa pauschal argumentieren, dass das unbemannte Luftfahrzeug das unbeweglichere ist?⁵⁸¹ Dies würde zur Folge haben, dass (1) unbemannte Luftfahrzeuge als solche klar erkennbar sein müssen und (2) bemannte Luftfahrzeuge den unbemannten immer ausweichen müssen. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass eine bloße Ersetzung der Fliegerregel „see and avoid“ durch eine modifizierte Regel „sense and avoid“ das Problem nicht vollständig löst.⁵⁸² Zum „see and avoid“ gehört eben auch das „Gesehen Werden“. Die entscheidende Frage, die sich hier stellt, ist die nach den Entscheidungsspielräumen, die dem Piloten einerseits und dem Bodenpersonal eines unbemannten Luftfahrzeugs andererseits verbleiben. Hierzu wird die Auffassung vertreten, dass für unbemannte Luftfahrzeuge das „TCAS unmittelbar mit der Steuerung des Luftfahrzeugs, unabhängig vom Willen des Steuerers am Boden, verbunden

⁵⁷⁶ Giemulla, 2007, S. 206.

⁵⁷⁷ Giemulla, 2007, S. 206.

⁵⁷⁸ § 13 Abs. 2 LuftVO lautet: „Kreuzen sich die Flugrichtungen zweier Luftfahrzeuge in nahezu gleicher Höhe, so hat das Luftfahrzeug, das von links kommt, auszuweichen. Jedoch haben stets auszuweichen 1. motorgetriebene Luftfahrzeuge, die schwerer als Luft sind, den Luftschiffen, Segelflugzeugen, Hängegleitern, Gleitsegeln und Ballonen; 2. Luftschiffe den Segelflugzeugen, Hängegleitern, Gleitsegeln und Ballonen; 3. Segelflugzeuge, Hängegleiter und Gleitsegel den Ballonen; 4. motorgetriebene Luftfahrzeuge den Luftfahrzeugen, die andere Luftfahrzeuge oder Gegenstände erkennbar schleppen. Motorsegler, deren Motor nicht in Betrieb ist, gelten bei Anwendung der Ausweichregeln als Segelflugzeuge.“

⁵⁷⁹ Vgl. dazu beispielsweise § 12 LuftVO.

⁵⁸⁰ Giemulla, 2007, S. 206.

⁵⁸¹ So wohl Giemulla, 2007, S. 207.

⁵⁸² Zum TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) vgl. den Bericht der Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung zur Kollision über dem Bodensee am 1. Juli 2002; AX001-1-2/02 vom Mai 2004 (online abrufbar unter http://www.bfu-web.de/nn_41670/DE/Publikationen/Untersuchungsberichte/2002/Bericht__02__AX001-1-2,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/Bericht_02_AX001-1-2.pdf (1. 9. 2008)).

sein“⁵⁸³ muss. Dies klingt plausibel, muss aber dann auch Auswirkungen auf die bemannte Luftfahrt haben. Ob und inwieweit automatisierte Entscheidungsprozesse aber tatsächlich menschliche Abwägungs- und Wertungsentscheidungen ersetzen können, bedarf näherer Analyse und Auswertung. Insofern ergeben sich hier auch Parallelen zu den Eingriffsmöglichkeiten nach humanitärem Völkerrecht. Es wird im Rahmen der Überlegungen zum Regelungsbedarf noch darauf zurückzukommen sein, welche Entscheidungen automatisiert werden können und bei welchen Entscheidungen es in der Tat auf menschliche Einschätzung und Wertung ankommen wird.

5.2.4 Völkerrechtliche Rahmenbedingungen

Das bedeutsamste völkerrechtliche Regelungsinstrument für den (zivilen) Luftverkehr ist das Übereinkommen vom 7. Dezember 1944 über die internationale Zivilluftfahrt.⁵⁸⁴ Art. 3 dieses Übereinkommens stellt hinsichtlich des Anwendungsbereichs klar, dass das Übereinkommen nur auf Privatluftfahrzeuge Anwendung findet. Art. 3 lit. a bestimmt ausdrücklich: „auf Staatsluftfahrzeuge ist es nicht anwendbar“. Außerdem heißt es in Art. 3 lit. b: „Luftfahrzeuge, die im Militär-, Zoll- und Polizeidienst verwendet werden, gelten als Staatsluftfahrzeuge“. Auch wenn das Übereinkommen also im Einzelnen auf den hoheitlichen Einsatz von Luftfahrzeugen keine Anwendung findet, so verpflichten sich die Vertragsparteien aufgrund von Art. 3 lit. d gleichwohl, „bei dem Erlass von Vorschriften für ihre Staatsluftfahrzeuge auf die Sicherheit des Verkehrs der Privatluftfahrzeuge gebührend Rücksicht zu nehmen“. Innerhalb des damit auf die zivile Luftfahrt beschränkten Anwendungsbereichs des Übereinkommens trifft Art. 8 eine Regelung für unbemannte Luftfahrzeuge. Art. 8 Satz 1 des Übereinkommens regelt eine scheinbare Selbstverständlichkeit, nämlich dass UAVs das Hoheitsgebiet eines Vertragsstaates „nur mit besonderer Ermächtigung dieses Staates und nur in Übereinstimmung mit den Bedingungen dieser Ermächtigung überfliegen“ dürfen. Daraus ergibt sich, dass Aufklärungsflüge in Friedenszeiten der Zustimmung des Territorialstaates bedürfen, es sei denn, es handelt sich um unbemannte Fahrzeuge, die jenseits des Luftraums operieren. Art. 8 Satz 2 des Übereinkommens stellt klar, dass bei Flügen mit unbemannten Luftfahrzeugen eine Gefahr für die zivile Luftfahrt vermieden werden muss.

Die Internationale Zivilluftfahrtsorganisation (ICAO) hat sich in der jüngeren Vergangenheit mehrfach mit unbemannten Luftfahrzeugen befasst. 2005 initiierte die Air Navigation Commission der ICAO einen Konsultationsprozess im Hinblick auf die auf unbemannte Luftfahr-

⁵⁸³ Giemulla, 2007, S. 208.

⁵⁸⁴ Übereinkommen über die Internationale Zivilluftfahrt vom 7. Dezember 1944 (BGBl. 1956 II S. 411) in der Fassung des Änderungsprotokolls vom 10. Mai 1984 (BGBl. 1996 II S. 210, 1999 II S. 307).

zeuge anwendbaren Regeln.⁵⁸⁵ Für diese Zwecke wurden die Mitgliedstaaten gebeten, Informationen über ihre innerstaatliche Rechtslage insoweit zur Verfügung zu stellen. Schon zuvor hatten aber Vertragsparteien des Übereinkommens von Chicago über die Ausgestaltung ihres innerstaatlichen Rechts hinsichtlich unbemannter Luftfahrzeuge informiert.⁵⁸⁶ Ziel der Befassung der ICAO ist es, Regelungen für den Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge im Anwendungsbereich des Übereinkommens zu entwickeln. Diese Regelungen dürften letztlich in Gestalt sogenannter „International Standards“ und „Recommended Practices“ (SARPs) ergehen.⁵⁸⁷

Generell gilt, dass die völkerrechtlichen Vorgaben der ICAO in das innerstaatliche Recht der Vertragsparteien umgesetzt werden müssen. Dies gilt zunächst für die Bestimmungen des Übereinkommens selbst, vor allem aber für die mit Verbindlichkeit ausgestatteten „International Standards“, teilweise aber auch für die nur empfehlende Wirkung entfaltenden „Recommended Practices“. Es ist zu betonen, dass ein wesentlicher Grund für die Ausarbeitung der EASA-Verordnung die Notwendigkeit einer einheitlichen Umsetzung der ICAO-Vorgaben in Europa war.⁵⁸⁸ Dabei war es insbesondere die schwache rechtliche Ausgestaltung der zwischenstaatlichen Zusammenarbeit innerhalb der JAA (Joint Aviation Authorities), die den Ausschlag gab. Dass ein Teil der Regelungen der ICAO über die Europäische Gemeinschaft umzusetzen ist, ergibt sich aus der vom gemeinschaftlichen Primärrecht vorgesehenen Kompetenzverteilung zwischen Mitgliedstaaten und Gemeinschaft.

5.3 Die rechtliche Regelung unbemannter Bodenfahrzeugsysteme

Zulassung und Betrieb von Bodenfahrzeugen sind gegenständlich dem Kraftfahrzeugrecht zuzuordnen. Im Zentrum des zurzeit im Prozess der Neuordnung und Umgestaltung befindlichen Zulassungsrechts steht der Begriff des Kraftfahrzeugs. Auch unbemannte Bodenfahrzeugsysteme lassen sich jedenfalls grundsätzlich der Definition des § 1 Abs. 2 StVG⁵⁸⁹ zuordnen. Dort heißt es: „Als Kraftfahrzeuge im Sinne dieses Gesetzes gelten Landfahrzeuge, die durch Maschinenkraft bewegt werden, ohne an Bahngleise gebunden zu sein“. Hinsichtlich

⁵⁸⁵ Vgl. hierzu einen Zwischenbericht aus dem Jahre 2007, APIRG/16-IP/15.

⁵⁸⁶ So wurde 2003 mit ACP WGF10/WP13 die britische Leitlinie CAP 722 Unmanned Aerial Vehicle Operations in UK Airspace – Guidance (<http://www.icao.int/anb/panels/acp/wg/f/WGF10/WP10-13Att.pdf> (1. 9. 2008)) im Rahmen eines Workshops des Aeronautical Communications Panel präsentiert.

⁵⁸⁷ Zu den SARPs vgl. Schäffer, 2007, S. 88 ff.

⁵⁸⁸ Vgl. dazu Stiehl, 2004, S. 312 ff.

⁵⁸⁹ Straßenverkehrsgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 5. März 2003 (BGBl. I S. 310, 919), geändert durch Artikel 5 des Gesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 706).

der Zulassungsvoraussetzungen sind in erster Linie das Straßenverkehrsgesetz, die Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung⁵⁹⁰, die Fahrerlaubnis-Verordnung⁵⁹¹ und die Fahrzeug-Zulassungsverordnung⁵⁹² zu beachten. Das gesamte Straßenverkehrsrecht ist stark durch Verwaltungsvorschriften geprägt,⁵⁹³ auf die hier allenfalls am Rande eingegangen werden kann. Soweit europäisches Gemeinschaftsrecht Anwendungsvorrang genießt, ist auch dieses zu beachten.⁵⁹⁴ Einschlägige völkerrechtliche Vereinbarungen genießen zwar keine unmittelbare Geltung; es ist aber zu prüfen, ob und inwieweit das deutsche und das europäische Recht mit den jeweiligen völkerrechtlichen Grundlagen in Einklang steht.⁵⁹⁵

§ 1 StVG schreibt vor, dass „Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger, die auf öffentlichen Straßen in Betrieb gesetzt werden sollen, (...) von der zuständigen Behörde (Zulassungsbehörde) zum Verkehr zugelassen sein“ müssen. Relativ einfach gestaltet sich die Zulassung bei Vorliegen einer Betriebserlaubnis oder einer EG-Typengenehmigung. Dann erfolgt die Zulassung nämlich schlicht durch Zuteilung eines amtlichen Kennzeichens. Nach § 1 Abs. 1 Satz 3 StVG ist in Ermangelung einer Betriebserlaubnis oder einer EG-Typengenehmigung gleichzeitig mit der Zulassung „die Erteilung der Betriebserlaubnis zu beantragen“. Hinsichtlich der Betriebserlaubnis ist auf die Bestimmungen der §§ 19 ff. StVZO⁵⁹⁶ zurückzugreifen. Für in Deutschland „reihenweise zu fertigende oder gefertigte Fahrzeuge kann die Betriebserlaubnis

⁵⁹⁰ Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 28. September 1988 (BGBl. I S. 1793), zuletzt geändert durch Artikel 2 der Verordnung vom 22. Januar 2008 (BGBl. I S. 54).

⁵⁹¹ Fahrerlaubnis-Verordnung vom 18. August 1998 (BGBl. I S. 2214), zuletzt geändert durch Artikel 9 des Gesetzes vom 8. April 2008 (BGBl. I S. 706).

⁵⁹² Fahrzeug-Zulassungsverordnung vom 25. April 2006 (BGBl. I S. 988), geändert durch Artikel 1a der Verordnung vom 18. Dezember 2006 (BGBl. I S. 3226). Diese Verordnung dient der Umsetzung der Richtlinie 1999/37/EG des Rates vom 29. April 1999 über Zulassungsdokumente für Fahrzeuge (ABl. EG Nr. L 138 S. 57), geändert durch die Richtlinie 2003/127/EG der Kommission vom 23. Dezember 2003 zur Änderung der Richtlinie 1999/37/EG des Rates über Zulassungsdokumente für Fahrzeuge (ABl. EU 2004 Nr. L 10 S. 29).

⁵⁹³ Zu den öffentlich-rechtlichen Grundlagen des Verkehrsrechts vgl. die Zusammenstellung bei Janker, 2008, Einführung Rn. 85 ff.; zu den Grundlagen der Durchführung (Verordnungen, Innenrecht und Verweisungen auf private Rechtssetzung in Gestalt von EN-, ISO- sowie DIN-Normen) *ibid.*, Rn. 101 ff.

⁵⁹⁴ Zu beachten sind insbesondere die EG-Betriebserlaubnis-Richtlinien (Richtlinie 96/96/EG des Rates vom 20. Dezember 1996 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die technische Überwachung der Kraftfahrzeuge und Kraftfahrzeuganhänger Verordnung (EG) Nr. 216/2008, ABl. L 46 vom 17.2.1997, S. 1–19; Richtlinie 96/53/EG des Rates vom 25. Juli 1996 zur Festlegung der höchstzulässigen Abmessungen für bestimmte Straßenfahrzeuge im innerstaatlichen und grenzüberschreitenden Verkehr in der Gemeinschaft sowie zur Festlegung der höchstzulässigen Gewichte im grenzüberschreitenden Verkehr, ABl. L 235 vom 17.9.1996, S. 59–75).

⁵⁹⁵ Insoweit sind insbesondere das Übereinkommen über die Annahme einheitlicher technischer Vorschriften für Radfahrzeuge, Ausrüstungsgegenstände und Teile, die in Radfahrzeuge(n) eingebaut und/oder verwendet werden können, und die Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung von Genehmigungen, die nach diesen Vorschriften erteilt wurden (BGBl. 1997 II S. 998), einschlägig.

⁵⁹⁶ § 20 StVZO betrifft die Allgemeine Betriebserlaubnis für Typen, § 21 StVZO regelt die Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge. Für Fahrzeuge, die nach ihrer Bauart speziell für militärische oder polizeiliche Zwecke sowie für Zwecke des Brandschutzes und des Katastrophenschutzes bestimmt sind, bestimmt § 19

dem Hersteller nach einer auf seine Kosten vorgenommenen Prüfung allgemein erteilt werden (Allgemeine Betriebserlaubnis) (...)“ (§ 20 Abs. 1 StVZO). Die Zuständigkeit für die Erteilung der Allgemeinen Betriebserlaubnis liegt beim Kraftfahrtbundesamt. Liegen die Voraussetzungen für eine Allgemeine Betriebserlaubnis nicht vor, so kann nach § 21 StVZO eine Betriebserlaubnis für Einzelfahrzeuge beantragt werden. Hierfür ist die Zulassungsbehörde zuständig.

Probleme bei der Zulassung unbemannter Bodenfahrzeugsysteme können sich insbesondere für zivil genutzte Systeme aus zahlreichen Bestimmungen ergeben. Es mag an dieser Stelle genügen, auf § 38 Abs. 1 StVZO hinzuweisen. Dort heißt es: „Die Lenkeinrichtung muss leichtes und sicheres Lenken des Fahrzeugs gewährleisten; sie ist, wenn nötig, mit einer Lenkhilfe zu versehen. Bei Versagen der Lenkhilfe muss die Lenkbarkeit des Fahrzeugs erhalten bleiben“. Hierzu heißt es in der Richtlinie für die Prüfung der Lenkanlagen von Kraftfahrzeugen und ihren Anhängern zu § 38 StVZO unter Ziffer 2.2.2.1⁵⁹⁷: „Lenkanlagen dürfen keine rein elektrischen (...) und keine rein pneumatischen Übertragungseinrichtungen haben“. Die Vorschrift geht wie selbstverständlich davon aus, dass ein Mensch das Lenkrad mit Muskelkraft bedient. Diese Richtlinie, die eine Unterlage für den Sachverständigen darstellt und angibt, auf welche Weise das in § 38 StVZO vorgeschriebene Ziel erreicht werden kann (und mit welchen der vom Konstrukteur angewendeten Mitteln dieses Ziel aufgrund vorangegangener Prüfungen des Sachverständigen als gesichert zu betrachten ist), ist als Verwaltungsvorschrift⁵⁹⁸ nur für die Verwaltungsbehörden des Bundes maßgeblich;⁵⁹⁹ auf Landesebene ist zu prüfen, ob diese im Erlasswege von der betreffenden zuständigen obersten Landesbehörde für ihre nachgeordneten Behörden vorgeschrieben worden sind.⁶⁰⁰ Außerhalb der Verwaltung wie auch für Gerichte entfalten diese Richtlinien keine unmittelbare Verbindlichkeit, sind aber unter dem Aspekt der Gleichbehandlung aller Verkehrsteilnehmer mittelbar bedeutsam.⁶⁰¹ Unter Ziffer 2.2.4.2.1 derselben Richtlinie heißt es: „Fremdkraftlenkanlagen sind nur zulässig in Kraftfahrzeugen mit einer bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 50 km/h, (...) und wenn (...) zusätzlich zur Energiequelle noch eine weitere

Abs. 2a Satz 2 StVZO, dass „eine Betriebserlaubnis nach § 21 nur der Bundeswehr, der Bundespolizei, der Polizei, der Feuerwehr oder dem Katastrophenschutz erteilt werden“ darf.

⁵⁹⁷ VkB1 1987, S. 404 (VO Nr. 94), veröffentlicht am 13.5.1987.

⁵⁹⁸ Verwaltungsvorschriften entfalten nur unter bestimmten Voraussetzungen Außenwirkung. Sie sind im Übrigen Innenrecht der Verwaltung. Eine Außenwirkung kann sich insbesondere aus Gleichbehandlungsgesichtspunkten ergeben. Vgl. allgemein zu Verwaltungsvorschriften Saurer, 2006, und Wahl, 2003, S. 571-598.

⁵⁹⁹ S. dazu Janker, 2008, Einführung Rn. 102.

⁶⁰⁰ Ibid., Rn. 102.

⁶⁰¹ Ibid., Rn. 101.

Fremdkraftquelle vorhanden ist“. Wenn man dann noch ECE-R 79⁶⁰² heranzieht und Anhang I der Richtlinie des Rates 70/311/EWG vom 8. Juni 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Lenkanlagen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern,⁶⁰³ dann dürfte man den Schluss ziehen, dass gegenwärtig rein elektrische Lenkanlagen ohne mechanische Wirkverbindung zwischen Lenkrad und gelenkten Rädern nicht zulassungsfähig sind. So heißt es im Hinblick auf so genannte „autonome Lenkanlagen“ in der Einleitung der 2006 berichtigten ECE-Richtlinie R 79: „(...) Daher ist nach der Regelung die allgemeine Genehmigung von Systemen mit Funktionen, mit deren Hilfe die Lenkung durch externe Signale gesteuert werden kann (...), nicht zulässig.“ Ein reines „steering by wire“-System ist derzeit in Deutschland nicht möglich.⁶⁰⁴ Etwas anderes gilt für Spurhalteassistenten oder Spurassistenten, soweit diese lediglich unterstützende Funktion haben. Aus der Richtlinie des Rates 70/311/EWG vom 8. Juni 1970 zur Angleichung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Lenkanlagen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern ergeben sich hohe rechtliche Anforderungen an ein reines „steer by wire“-System. Ein unbemanntes Bodenfahrzeugsystem, das sich in besonderer Weise für die Praxis anbietet, sind so genannte elektronische Deichseln. Dabei werden (zumeist) Nutzfahrzeuge mit Hilfe von Elektronik und Computertechnik nicht-taktil gekoppelt. Die hinteren Fahrzeuge folgen dabei dem Führungsfahrzeug automatisch.⁶⁰⁵ Auch dieses System, das insbesondere aus umwelt- und verkehrspolitischen Gründen hochattraktiv ist, erweist sich vor dem Hintergrund des geltenden Straßenverkehrszulassungsrechts als nicht völlig unproblematisch, es sei denn, ein solcher „road train“ würde als ein Fahrzeug angesehen.⁶⁰⁶ Aber auch dann fehlt es an der mechanischen Absicherung der Lenkung.

Nach dem geltenden deutschen (und europäischen) Recht sind danach gegenwärtig zivil genutzte Vollautomaten straßenverkehrsrechtlich ebenso unzulässig wie zivil genutzte, nicht

⁶⁰² ECE-Regelungen ergeben auf der Grundlage eines am 20. März 1958 im Rahmen der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (ECE) geschlossenen und mit Wirkung vom 16. Oktober 1995 geänderten Übereinkommens (Übereinkommen über die Annahme einheitlicher technischer Vorschriften für Radfahrzeuge, Ausrüstungsgegenstände und Teile, die in Radfahrzeuge(n) eingebaut und/oder verwendet werden können, und die Bedingungen für die gegenseitige Anerkennung von Genehmigungen, die nach diesen Vorschriften erteilt wurden (BGBl. 1997 II S. 998)). Es handelt sich dabei um einheitliche technische Vorschriften für die Genehmigung von Fahrzeugen, Teilen und Ausrüstungsgegenständen von Kraftfahrzeugen, um Schranken im Handel mit Kraftfahrzeugen und mit Zubehörteilen zum Nutzen der Verbraucher abzubauen. Die Regelung Nr. 79 („Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung der Fahrzeuge hinsichtlich der Lenkanlage“) ist online abrufbar unter http://www.bmvbs.de/Anlage/original_1003114/R-79-Lenkanlagen.pdf (1. 9. 2008).

⁶⁰³ ABl. L 196 vom 3.9.1970, S. 14; zuletzt berichtigt und konsolidiert in ABl. L 14 vom 17.1.2008, S. 28.

⁶⁰⁴ Dies hat auch Auswirkungen auf eine behindertengerechte Zusatzausstattung.

⁶⁰⁵ Vgl. dazu etwa die Patente EP1559985B1, EP1559985A3 und EP1559985A2, einsehbar über <http://www.freepatentsonline.com/> (1. 9. 2008).

⁶⁰⁶ Zur technischen Realisierung vgl. Neunzig/Wallentowitz/Großpietsch, 2003.

übersteuerbare Fahrerassistenzsysteme.⁶⁰⁷ Ein auf das deutsche oder europäische Recht beschränkter Reformbedarf lässt sich allerdings nur dann ausmachen, wenn sich die völkerrechtliche Lage im Ergebnis von der europarechtlichen und innerstaatlichen unterscheidet. Sollten nämlich nicht übersteuerbare Fahrerassistenzsysteme völkerrechtlich zulässig sein, dann könnte dies auch Modellcharakter für unbemannte Bodenfahrzeugsysteme als solche haben. Ganz wesentlich kommt es dabei auf die Bestimmungen des Wiener Übereinkommens über den Straßenverkehr von 1968 an.⁶⁰⁸ Dieses Übereinkommen, das die Vertragsstaaten verpflichtet, die in ihrem Staatsgebiet geltenden Verkehrsregelungen mit denen des Übereinkommens in Einklang zu bringen, sieht in seinem Art. 8 Abs. 5 vor: „Jeder Fahrer muss jederzeit fähig sein, sein Fahrzeug zu kontrollieren und seine Tiere zu führen“.⁶⁰⁹ Art. 13 Abs. 1 Satz 1 des Übereinkommens bestimmt darüber hinaus: „Jeder Fahrzeugführer muss unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen, um den Sorgfaltspflichten genügen zu können und um ständig in der Lage zu sein, alle ihm obliegenden Fahrbewegungen auszuführen.“⁶¹⁰ Will man auf der Grundlage dieser beiden Bestimmungen die Frage beantworten, ob systeminitiierte, nicht-übersteuerbare Fahrerassistenzsysteme zum Straßenverkehr zugelassen werden dürfen oder nicht, so muss man dabei Wortlaut, systematischen Zusammenhang und Vertragszweck berücksichtigen. Schon nach dem Wortlaut geht es nicht um Zulassungsvoraussetzungen eines Fahrzeugs, sondern um Verhaltenspflichten des Fahrers. Auch systematisch befinden sich Zulassungsvoraussetzungen an anderer Stelle, nämlich in Kapitel III und Anhang 5 des Übereinkommens. Sinn und Zweck des Übereinkommens schließlich ist nicht die Verhinderung von technischem Fortschritt, sondern die Herbeiführung einheitlicher Verkehrsregeln im Interesse der Verkehrssicherheit. Damit steht das Wiener Übereinkommen selbst den nicht übersteuerbaren systeminitiierten Fahrerassistenzsystemen nicht entgegen.⁶¹¹ Letztlich verstößt daher ein den übrigen Verkehrsvorschriften entsprechender Einsatz von UGVs nicht gegen das Wiener Übereinkommen.

⁶⁰⁷ Fahrerassistenzsysteme können als Interventionssysteme entweder vom Fahrer aktiviert werden (fahrerinitiiert) oder vom System initiiert werden (systeminitiiert) werden. Sie werden im Betrieb entweder vom Fahrer aktiv beeinflusst (übersteuerbar) oder vom Fahrer nicht mehr aktiv beeinflusst werden (nicht übersteuerbar).

⁶⁰⁸ BGBl. 1977 II S. 809, 811.

⁶⁰⁹ In der u.a. verbindlichen englischen Textfassung heißt es: „Every driver shall at all times be able to control his vehicle or to guide his animals.“

⁶¹⁰ Die englische Textfassung lautet: „Every driver of a vehicle shall in all circumstances have his vehicle under control so as to be able to exercise due and proper care and to be at all times in a position to perform all manoeuvres required of him“.

⁶¹¹ So auch Bernhard Kempen auf dem 3. Sachverständigentag am 25./26. Februar 2008; vgl. dazu nur http://www.sachverstaendigentag21.de/downloads/2_Vertrag_-_Prof._Kempen_-_Praesentation.pdf (1. 9. 2008).

Im Ergebnis lässt sich daher, für den Fall, dass ein Einsatz von UGVs für sinnvoll erachtet wird, ein völkerrechtlich kompatibler Reformbedarf auf der Ebene des nationalen und europäischen Rechts zugunsten zivil genutzter unbemannter Bodenfahrzeugsysteme ausmachen. Dies bedeutet nicht, dass das außerhalb öffentlicher Straßen geltende allgemeine vertragliche und deliktische Haftungsrecht außer Acht bleiben könnte.⁶¹²

Wendet man sich nicht nur der zivilen Nutzung, sondern der militärischen Nutzung unbemannter Bodenfahrzeugsysteme zu, so fällt auf, dass der größte Teil des Straßenverkehrsrechts der Bundeswehr, der Polizei, der Bundespolizei, der Feuerwehr, dem Technischen Hilfswerk und anderen Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes sowie dem Zolldienst Abweichungen ermöglicht. Abgesehen von spezifischen Sonderbestimmungen der StVZO⁶¹³ sieht deren § 70 Abs. 4 vor: „Die Bundeswehr, die Polizei, die Bundespolizei, die Feuerwehr und die anderen Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes sowie der Zolldienst sind von den Vorschriften dieser Verordnung befreit, soweit dies zur Erfüllung hoheitlicher Aufgaben unter gebührender Berücksichtigung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung dringend geboten ist. Abweichungen von den Vorschriften über die Ausrüstung mit Kennleuchten, über Warneinrichtungen mit einer Folge von Klängen verschiedener Grundfrequenz (Einsatzhorn) und über Sirenen sind nicht zulässig.“ In ähnlicher Weise bestimmt § 47 Abs. 4 der Fahrzeug-Zulassungsverordnung: „Die Bundeswehr, die Polizei, die Bundespolizei, die Feuerwehr, das Technische Hilfswerk und die anderen Einheiten und Einrichtungen des Katastrophenschutzes sowie der Zolldienst sind von den Vorschriften dieser Verordnung befreit, soweit dies zur Erfüllung hoheitlicher Aufgaben unter gebührender Berücksichtigung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung dringend geboten ist.“ Schließlich ist noch auf § 27 der Fahrerlaubnisverordnung zu verweisen, der das Verhältnis von allgemeiner und Dienstfahrerlaubnis regelt.

Danach bleibt als Zwischenergebnis festzuhalten, dass die nicht zivilen Nutzungen schon jetzt rechtlich offener gestaltet sind. Ausulegen ist dabei insbesondere der Satzteil, wonach Abweichungen zulässig sind, „soweit dies zur Erfüllung hoheitlicher Aufgaben unter gebührender Berücksichtigung der öffentlichen Sicherheit und Ordnung dringend geboten ist“. Man kann dabei auch darauf hinweisen, dass außerhalb des öffentlichen Straßenraums schon jetzt solche Geräte der Bundeswehr rechtlich einwandfrei im Einsatz sind, die ferngesteuert agie-

⁶¹² Hierauf ist an dieser Stelle nicht näher einzugehen.

⁶¹³ Z.B. §§ 19 Abs. 2a und 20 Abs. 3b StVZO, mit denen die hoheitliche Tätigkeit insbesondere der Streitkräfte teilweise vom Anwendungsbereich der StVZO ausgenommen oder aber Sonderregelungen für die Streitkräfte etc. ermöglicht werden.

ren. Zu nennen sind hier insbesondere Minensuch- und Minenräumfahrzeuge.⁶¹⁴ Der Einsatz dieser Geräte richtet sich allerdings nicht nach den straßenverkehrsrechtlichen Bestimmungen, sondern in erster Linie nach dem für die Streitkräfte geltenden internen Recht.

5.4 Die rechtliche Regelung unbemannter Wasserfahrzeugsysteme

Vorläufig kann hier zunächst nur darauf hingewiesen werden, dass – ähnlich wie bei den unbemannten Luft- und Bodenfahrzeugen – zwischen ziviler Nutzung einerseits und militärischer, polizeilicher und ähnlicher Nutzung andererseits zu unterscheiden ist.⁶¹⁵ Darüber hinaus gelten unterschiedliche Vorschriften für Wasserfahrzeuge, die auf dem Meer eingesetzt werden,⁶¹⁶ und solchen, die in Binnengewässern zum Einsatz kommen.⁶¹⁷ Hinsichtlich der Seeschifffahrt ist zu unterscheiden zwischen der Reichweite deutscher Jurisdiktion, dem europäischen Gemeinschaftsrecht und einschlägigen völkerrechtlichen Verträgen. In Bezug auf die Binnenschifffahrt ist zwischen Bundeswasserstraßen einerseits und Gewässern, die in die Regelungskompetenz der Länder fallen, zu unterscheiden.

Vereinzelt enthält das geltende Recht ausdrückliche Bestimmungen zu unbemannten Wasserfahrzeugen. Diesen Bestimmungen liegen allerdings zumeist andere Funktionen oder Eigenschaften von Fahrzeugen zugrunde als den Wasserfahrzeugen, die autonom betrieben werden, da erstere meistens ortsfest angebracht waren. So schreibt § 9 Abs. 2 Satz 2 der Seeschifffahrtsstraßen-Ordnung beispielsweise vor, dass unbemannte Wasserfahrzeuge eine Positionslaterne betreiben müssen.

Soweit es nicht um die internen Gewässer der Bundesrepublik Deutschland geht, müssen die einschlägigen völkerrechtlichen Vorgaben beachtet werden. Dies gilt auch für internationalisierte Flussläufe, die für den Schiffsverkehr genutzt werden. An dieser Stelle können nur die Eckpunkte genannt werden, die es zu berücksichtigen gilt. Internationale Binnenseen (für die Bundesrepublik Deutschland insbesondere der Bodensee) wie auch internationale Flussläufe sind regelmäßig Gegenstand eigenständiger Regelwerke, die unter den Anrainerstaaten vereinbart worden sind. Für den Rhein etwa ist die Revidierte Rheinschifffahrtsakte vom 17.

⁶¹⁴ Es würde den Rahmen dieses Gutachtens sprengen, wenn man auf die bundeswehrinternen Zulassungsverfahren im Einzelnen eingehen wollte.

⁶¹⁵ Vgl. etwa § 7 Satz 1 der Seeschifffahrtsstraßen-Ordnung (teilweise Befreiung von Fahrzeugen des öffentlichen Dienstes).

⁶¹⁶ Seeschifffahrtsstraßen-Ordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 22. Oktober 1998 (BGBl. I S. 3209, 1999 I S. 193), zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 28. Juni 2006 (BGBl. I S. 1417).

⁶¹⁷ Vgl. etwa Bundeswasserstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 23. Mai 2007 (BGBl. I S. 962), zuletzt geändert durch § 2 der Verordnung vom 18. März 2008 (BGBl. I S. 449).

Oktober 1868 in der aktuell geltenden Fassung von Bedeutung.⁶¹⁸ Keine vollständig geklärten Verhältnisse gibt es am Bodensee, wo insbesondere für einen großen Teil des Obersees nie Grenzen zwischen den Nachbarstaaten festgelegt wurden.⁶¹⁹ Jenseits der internen Gewässer unterscheidet das Seerechtsübereinkommen der Vereinten Nationen⁶²⁰ hinsichtlich der Ausübung von Hoheitsgewalt zwischen verschiedenen von der Küste seewärts gestaffelten Zonen: dem Küstenmeer, der Anschlusszone, der ausschließlichen Wirtschaftszone und der Hohen See. Im Übrigen ist zu berücksichtigen, dass für den Festlandsockel ein separates Regime gilt. Das Seerechtsübereinkommen beinhaltet keinerlei spezifische Regelungen über unbemannte Seefahrzeuge. Das Küstenmeer, das sich von der Basislinie aus maximal 12 Seemeilen weit seewärts erstreckt, unterliegt der Souveränität des Küstenstaates (Art. 2 SRÜ). Innerhalb des Küstenmeeres haben andere Staaten allerdings das Recht zur friedlichen Durchfahrt.⁶²¹ Für Unterwasserfahrzeuge, ob bemannt oder unbemannt, bestimmt Art. 20 SRÜ: „Unterseeboote und andere Unterwasserfahrzeuge müssen im Küstenmeer über Wasser fahren und ihre Flagge zeigen“. Auch in der Anschlußzone und innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone stehen dem Küstenstaat besondere Rechte zu. Dies ist bei jeder Regulierung von unbemannten Seefahrzeugen zu berücksichtigen. Dabei ist auch zu beachten, dass unbemannte Unterwasserfahrzeuge von besonderer Bedeutung sind. Sie werden sowohl für militärische als auch für zivile Zwecke eingesetzt. Beispielsweise dienen sie der Verlegung und Überwachung von unterseeischen Rohrleitungen. Auch hier sind einschlägige Bestimmungen des Seerechtsübereinkommens zu beachten.⁶²² Neben dem weitgehend nur hinsichtlich der Regelungszuständigkeit aussagekräftigen Seerechtsübereinkommen sind aber auch die Bestimmungen der International Maritime Organization (IMO) zu beachten, die für die Seeschifffahrt zahlreiche Regelungen erlassen hat. Von besonderer Bedeutung sind die Internationalen Regeln zur Verhütung von Zusammenstößen auf See, die dem Übereinkommen von 1972 über die Internationalen Regeln zur Verhütung von Zusammenstößen auf See vom 20. Oktober 1972⁶²³ beigefügt und in deutsches Recht umgesetzt worden sind. Eine detaillierte Analyse der einschlägigen Rechtsvorschriften mit dem Ziel der Erarbeitung von Regulierungsvorschlägen für den

⁶¹⁸ Vom 17. Oktober 1868 in der Fassung der Bekanntmachung vom 11. März 1969 (BGBl. II S. 597) unter Berücksichtigung der Änderungen durch das Zusatzprotokoll Nr. 2 vom 17.10.1979 (Gesetz vom 22.7.1980, BGBl. II S. 870) und das Zusatzprotokoll Nr. 3 vom 17.10.1979 (Gesetz vom 22.7.1980, BGBl. II S. 875)

⁶¹⁹ Statt aller Frowein, 1997, S. 116 ff.

⁶²⁰ BGBl. 1994 II S. 1798.

⁶²¹ Art. 17 SRÜ lautet: „Vorbehaltlich dieses Übereinkommens genießen die Schiffe aller Staaten, ob Küsten- oder Binnenstaaten, das Recht der friedlichen Durchfahrt durch das Küstenmeer.“

⁶²² Vgl. beispielsweise Art. 58, 79 SRÜ für Rohrleitungen. Darauf, dass die Rechtslage hinsichtlich unbemannter Seefahrzeuge bislang alles andere als klar ist, weist auch ein von der U.S. Navy 2005 erstellter Bericht hin, Tokarick, 2005.

⁶²³ BGBl. 1976 II, S. 1023.

Einsatz von unbemannten Wasserfahrzeugen bedarf ggfs. einer eigenständigen gutachterlichen Stellungnahmen, die im vorliegenden Rahmen nicht geleistet werden kann und soll.

5.5 Zusammenfassende Überlegungen zum Regelungsbedarf

5.5.1 in Bezug auf unbemannte Luftfahrzeugsysteme

- In erster Linie ist eine eindeutige Zuordnung und Begriffsbestimmung von UAVs für das deutsche Luftverkehrsrecht ebenso wie für das einschlägige Europarecht erforderlich. Eine entsprechende Definition sollte nicht zu eng gefasst werden, aber gleichwohl die besonderen Spezifika von UAVs zum Ausdruck bringen, insbesondere die Trennung von Fluggerät und Steuerer. Dies macht eine Änderung des LuftVG erforderlich, um ein Mindestmaß an Kohärenz bei der untergesetzlichen Rechtsetzung zu sichern. Jenseits dessen gebietet auch der Parlamentsvorbehalt, dass eine entsprechende Änderung nicht im Verordnungswege erfolgt.
- Ob die Definition an das Adjektiv „unbemannt“ oder an die „Fernsteuerung“ des Fluggeräts anknüpfen soll, muss sorgfältig erwogen werden. Will man für technologischen Fortschritt offen sein, so spricht einiges für „unbemannt“, weil damit auch vollständig automatisierte Systeme regelungstechnisch berücksichtigt werden können. Auf der anderen Seite ist zu bedenken, dass zum gegenwärtigen Zeitpunkt lediglich die Tatsache relevant ist, dass der Steuerer nicht im Flugobjekt „sitzt“ und deshalb auch nicht unmittelbar mit den Folgen von Fehlverhalten oder Fehlfunktionen konfrontiert ist.
- Jenseits der definitorischen Probleme haben die obigen Ausführungen deutlich gemacht, dass es eine Reihe von Regelungslücken gibt, die teilweise auch mit dem nicht immer abgestimmten Nebeneinander von nationalem und europäischem Recht zusammenhängen. Insbesondere für UAVs unter 150 kg gibt es entsprechenden Normsetzungsbedarf. Dabei stellt sich die Frage, ob man einheitliche Zulassungsregelungen für UAVs anstrebt oder insbesondere nach Gewichtsklassen differenziert. Da das Gefährdungspotenzial von UAVs nicht in erster Linie mit dem Gewicht zusammenhängt, sondern aus der Tatsache der Fern- oder gar einer autonomen Steuerung resultiert, spricht einiges für eine einheitliche Zulassungsregelung für die einschlägigen Fluggeräte wie auch für die jeweiligen Bodensegmente. Eine weitere schwierige Frage an dieser Stelle ist, ob eine Reform des innerstaatlichen Rechts an eine entsprechende Reform des europäischen Rechts geknüpft werden sollte, zumal die

EASA-Grundverordnung erst 2008 überarbeitet wurde. Aus rechtswissenschaftlicher Perspektive bietet sich eine einheitliche europa- und bundesrechtliche Regelung an; es ist allerdings zweifelhaft, ob ein solches Vorgehen rechtspolitisch durchsetzbar ist. Gegebenenfalls sollten Kleinstgeräte von einer Genehmigungspflicht freigestellt und nur einer Melde- oder Anzeigepflicht unterworfen werden.

- Das mit dem Einsatz von UAVs betraute Personal bedarf eigenständiger Qualifikations- und Zulassungsregelungen. Dies hängt vor allem damit zusammen, dass teilweise kategorisch andere Fähigkeiten gefordert sind als bei Luftfahrzeugführern. Eine Anpassung der entsprechenden Rechtsgrundlagen dürfte unproblematisch sein, da dies nach wie vor in erster Linie eine Frage des innerstaatlichen Rechts ist.
- Die Verkehrs- und Kollisionsregeln müssen präzisiert werden. Dabei ist zunächst die Frage zu stellen, ob die geltenden Abstandsregelungen auch für UAVs überzeugen können. Zum zweiten ist aber zu prüfen, ob und inwieweit es angezeigt ist, von „see and avoid“ zu „sense and avoid“ überzugehen. Hier sind ohne Zweifel noch weitere Analysen erforderlich, um technischen Fortschritt und menschliche Fähigkeiten aufeinander abzustimmen. Es ist aus unserer Sicht nicht eindeutig, ob eine Kompetenz der anderen zwingend überlegen ist.
- Neben dem innerstaatlichen und europarechtlichen Regelungsbedarf ist dringend zu empfehlen, sich intensiv an den Bemühungen im Rahmen der ICAO zur Entwicklung neuer SARPs zu beteiligen. Zum einen ist dies vor dem Hintergrund der weltweiten Nutzungsmöglichkeiten von UAVs zu bedenken, so dass sich eine Entwicklung einheitlicher internationaler Standards anbietet; zum anderen sollte das Gewicht der SARPs nicht unterschätzt werden, ist doch einerseits absehbar, dass die ICAO über kurz oder lang entsprechende Empfehlungen oder Richtlinien formulieren wird, und sollten andererseits hier doch entsprechende Präferenzen aus deutscher und europäischer Sicht in den internationalen Prozess eingespeist werden.

5.5.2 in Bezug auf unbemannte Bodenfahrzeugsysteme

- Im Bereich unbemannter Bodenfahrzeuge ist die rechtliche Diskussion bei weitem nicht so weit fortgeschritten, wie dies bei den unbemannten Luftfahrzeugsystemen der Fall ist, auch wenn es erste Diskussionen im Kontext des Straßenverkehrsrechts gibt. Festzuhalten ist zunächst, dass der auf den ersten Blick eher restriktive völkerrechtliche Rahmen einer Weiterentwicklung des innerstaatlichen wie auch des europäischen Gemeinschaftsrechts mit dem Ziel einer Integration unbemannter Bodenfahrzeugsysteme nicht entgegensteht.

- Von zentraler Bedeutung für den Bereich der unbemannten Bodenfahrzeugsysteme ist allerdings, dass bislang kein Regelungskonzept ersichtlich ist. Im Interesse einer technologisch überzeugenden und verfassungskonformen Bewertung der mit dem Einsatz unbemannter Bodenfahrzeugsysteme im öffentlichen Verkehrsraum einhergehenden Risiken ist zu empfehlen, einen eigenständigen definitorischen Rahmen zu schaffen, der dann – ggfs. deutlich getrennt vom übrigen Straßenverkehrszulassungsrecht – normativ umgesetzt wird. Andererseits bietet sich in Anbetracht der Nutzungsmöglichkeiten eine enge Verzahnung mit dem geltenden Straßenverkehrsrecht an. Dabei ist – vergleichbar den unbemannten Luftfahrzeugsystemen – zu prüfen, inwieweit die persönliche Qualifikation des Steuerers einer eigenständigen Regelung bedarf.
- Grundsätzlich gilt, dass Interessenskonflikte und Gefährdungslagen bei den unbemannten Bodenfahrzeugsystemen am deutlichsten in Erscheinung treten, wenn man den öffentlichen Verkehrsraum in den Blick nimmt. Allein hieraus können ggfs. andere Wertungen resultieren, als dies im Bereich der unbemannten Luft- und Wasserfahrzeugsysteme der Fall ist.
- Eine Integration unbemannter Bodenfahrzeugsysteme in das schon jetzt ausgesprochen komplexe Regelwerk des Straßenverkehrsrechts sollte behutsam vorgenommen werden und bedarf in jedem Fall einer spezifischen rechtswissenschaftlichen Analyse, die dieses Gutachten weder leisten sollte noch konnte.

5.5.3 in Bezug auf unbemannte Wasserfahrzeugsysteme

- Aus der Perspektive des geltenden Rechts (de lege lata) eröffnen sich bei den unbemannten Wasserfahrzeugsystemen die größten Spielräume. Dabei stehen jedenfalls auf den ersten Blick nicht die fahrzeugtechnischen Zulassungsfragen im Zentrum der Aufmerksamkeit. Soweit die Schifffahrt betroffen ist, müssen sowohl binnenschifffahrtsrechtlich als auch internationalrechtlich die vorhandenen Kollisionsregeln einer genauen Analyse unterzogen werden, um Regelungsbedarf zu identifizieren und vernünftige (und damit anschlussfähige) Regelungskonzepte zu entwickeln.
- Viel gewichtiger als die binnenschifffahrtsrechtliche Perspektive ist aber der Regelungsbedarf im Bereich des See- und des Seeschifffahrtsrechts. Hier sind zwei Regelungsbereich auseinander zu halten. Zum einen ist der kompetenzrechtliche Zugang des Seerechtsübereinkommens zu berücksichtigen; zum anderen sind die technischen Einzelheiten des Seeschifffahrtsrechts ggfs. anzupassen.
- Soweit ersichtlich fehlt es in Bezug auf unbemannte Wasserfahrzeugsysteme aber noch an einer regelungspolitischen Grundsatzdebatte, die sowohl Regelungsziele als auch Rege-

lungsinstrumente erfasst. Eine solche Debatte lässt sich im Zweifelsfall nicht allein auf nationaler Ebene führen, auch wenn es durchaus sinnvoll ist, auf dieser Ebene zu beginnen. Dass hier ein substanzieller Forschungs- und Diskussionsbedarf besteht, ist offensichtlich. Das vorliegende Gutachten kann insoweit allenfalls Problembewusstsein schaffen, aber keine Antworten geben.

5.5.4 in Bezug auf die Unterscheidung von privater und hoheitlicher Nutzung

- Immer wieder ist im Rahmen dieses fünften Teils des Gutachtens deutlich geworden, dass der Gesetzgeber in erster Linie die private Nutzung von Fahrzeugsystemen reguliert. Dies ist nachvollziehbar und grundsätzlich nicht in Zweifel zu ziehen.
- Dass hoheitliche Nutzungen, soweit sie von privaten Nutzungen abgeschichtet, insbesondere auch räumlich getrennt sind, eigenständigen Anforderungen unterworfen sind, steht gleichsam außer Zweifel. Wegen der spezifischen Anforderungen ist es nicht nur vertretbar, sondern auch überzeugend, dass sowohl die Zulassung der jeweiligen Fahrzeuge und Systeme als auch die Anforderungen an das Bedienungspersonal eigenständigen Regelungen unterworfen sind.
- Diskussionswürdig und gegebenenfalls auch regulierungsbedürftig ist dagegen die Schnittstelle, an der sich private und hoheitliche Nutzungen berühren. Dies ist bei allen Fahrzeugsystemen immer dann der Fall, wenn hoheitliche Nutzungen im öffentlichen, also auch von privaten Verkehrsteilnehmern genutzten, Verkehrsraum stattfinden. Hier müssen Verhaltensregeln entwickelt werden, die genau dieses Nebeneinander in den Blick nehmen. Aus sicherheitsrechtlicher Perspektive dürfen Private hier nicht schlechter gestellt werden als andernorts. Insbesondere dürfte es verfassungsrechtlich kaum vertretbar sein, hier in hohem Maße auf automatisierte Steuerungsprozesse abzustellen, wenn sich damit Gefährdungen von Privatpersonen nicht ausschließen lassen.
- Schließlich dürfte es in allen Regulierungsbereichen bei unbemannten Systemen empfehlenswert sein, die Zulassungs- und Überwachungsregeln für hoheitliche Nutzungen transparent zu gestalten. Ein hohes Maß an Abstimmung zwischen den Anforderungen an private und denen an eine hoheitliche Nutzungen schafft nicht nur Legitimität, sondern sichert auch ein möglichst hohes Maß an rechtspolitischer und regelungstechnischer Kohärenz.

Literatur zu Kapitel 5

- Frowein, J.A., 1997: Lake Constance, in: R. Bernhardt (Hrsg.), *Encyclopedia of Public International Law*, Bd. III, Amsterdam: Elsevier.
- Giemulla, E., 2005: in: Giemulla, E., Schmid, R., und Müller-Rostin, W., *Luftverkehrsgesetz, Frankfurter Kommentar zum Luftverkehrsrecht*, Bd. 1 (Loseblatt-Sammlung, Stand: Mai Oktober 2007), Neuwied: Luchterhand Verlag.
- Giemulla, E., 2007: Unbemannte Luftfahrzeugsysteme – Probleme ihrer Einfügung in das zivile und militärische Luftrecht, *Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht*, Vol. 56, S. 195-210.
- Hebert, M.H., et al. (Hrsg.), 1997: *Intelligent Unmanned Ground Vehicles. Autonomous Navigation Research at Carnegie Mellon*, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Henderson, A.H., 2006: Murky waters: The legal status of unmanned undersea vehicles, *Naval Law Review* Vol. 53, S. 55-72.
- Herdegen, M., 2008: *Europarecht*, 10. Aufl., Tübingen: C.H. Beck Verlag.
- Herwitz, S.R., et al., 2004: Imaging from an unmanned aerial vehicle: agricultural surveillance and decision support, *Computers and Electronics in Agriculture* Vol. 44, S. 49-61.
- Janker, H. 2008, in: Burmann, M., et al. (Hrsg.), *Straßenverkehrsrecht*, 20. Aufl., München: C.H. Beck Verlag.
- Kaiser, S.A., 2006: Legal Aspects of Unmanned Aerial Vehicles, *Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht* Vol. 55, Heft 3, S. 344-364.
- Naeem, W., et al., 2007: Chemical Plume Tracing and Odour Source Localisation by Autonomous Vehicles, *Journal of Navigation* Vol. 60, S. 173-190.
- Neunzig, D., Wallentowitz, H., und Großpietsch, R., 2003: Roadtrains für Europa – wie werden sie möglich? (Kurzgutachten), http://www.pelops.de/pdf/2003/roadtrains_fuer_europa_-_wie_werden_sie_moeglich.pdf (1. 9. 2008).
- Reidelstürz, P., et al., 2007: UAV (unmanned aerial vehicles) für Präzisionslandwirtschaft, in: Zude-Sasse, M. (Red.), 13. Workshop Computer-Bildanalyse in der Landwirtschaft & 4. Workshop Precision Farming (15.-16. Mai 2007, Universität Hohenheim), S. 75-84.
- Riedel, D., 2006: Die Gemeinschaftszulassung für Luftfahrtgerät, *Europäisches Verwalten durch Agenturen am Beispiel der EASA*, *Schriften zum Europäischen Recht*, Band 118, Berlin: Duncker und Humblot Verlag.

- Robinson, T., 2007: The long arm of unmanned law? Unmanned Aerial Vehicles are now starting to attract the attention of law enforcement, border patrol and paramilitary organisations for their cost-effectiveness and utility, *Aerospace International* Vol. 34, No. 4, S. 28-31.
- Saurer, H., 2006: Die neueren Theorien zur Normkategorie der Verwaltungsvorschriften, *Verwaltungsarchiv* Nr. 97, S. 240-269.
- Schäffer, H., 2007: Der Schutz des zivilen Luftverkehrs vor Terrorismus, *Der Beitrag der International Civil Aviation Organization (ICAO)*, *Nomos Universitätsschriften* Vol. 31 No. 12, Baden-Baden: Nomos Verlag.
- Schweitzer, M., 2008: Staatsrecht, Völkerrecht, Europarecht, 9. Aufl., Heidelberg: C.F. Müller Verlag.
- Stiehl, U.-M., 2004: Die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA), *Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht* Vol. 53, S. 312-334.
- Tagesspiegel, 2008: Polizei setzt fliegende Kameras ein. Einsatz gegen Hooligans und Geiselnnehmer, *Der Tagesspiegel*, 17.2.2008, <http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/art1117,2478186> (1. 9. 2008).
- Tasikas, V., 2004: Unmanned Aerial Vehicles and the Doctrine of Hot Pursuit: A New Era of Coast Guard Maritime Law Enforcement Operations, *Tulane Maritime Law Journal* Vol. 29, S. 59-80.
- Tokarick, K.J., 2005: Employment Considerations in the Use of Unmanned Undersea Vehicles by the Operational Commander, <http://stinet.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA463720&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf> (1. 9. 2008).
- Wahl, R., 2003: Verwaltungsvorschriften – die ungesicherte dritte Kategorie des Rechts, in: Schmidt-Aßmann, E. (Hrsg.), *Festgabe 50 Jahre Bundesverwaltungsgericht*, Köln: Carl Heymanns Verlag.
- WTD (Wehrtechnische Dienststelle für Luftfahrzeuge) / Musterprüfwesen für Luftfahrtgerät der Bundeswehr, 2008: Synergien bei der Musterzulassung von UAS, *ILA-Fachtagung "Unbemannte Fluggeräte – Quo Vadis?"*, 28.05.2008 in Berlin, http://www.uavdach.org/Dokumente/content/ILA/10a_WTD61-ILA-08.pdf (1. 9. 2008).

Abkürzungen

ABl.	Amtsblatt
Abs.	Absatz
ABM	Anti-Ballistic Missile
ACP	Aeronautical Communications Panel
AI	artificial intelligence
AIAA	American Institute for Aeronautics and Astronautics
AFRL	Air Force Research Laboratory
AKSE	angepasster KSE-Vertrag
ALADIN	Abbildende Luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächstbereich
ALCM	Air-Launched Cruise Missile
ALFUS	Autonomy Levels For Unmanned Systems
ARL	Army Research Laboratory
ARV	Armed Robotic Vehicle
ASCM	Anti-Ship Cruise Missile
ATC	Air Traffic Control
ATTU	(from the) Atlantic to the Urals
AUVSI	Association for Unmanned Systems International
BAnz.	Bundesanzeiger
BBC	British Broadcasting Corporation
BDLI	Bundesverband der Luft- und Raumfahrtindustrie
Besch.	Beschaffung
BGBI.	Bundesgesetzblatt
BuW	Betrieb und Wartung
B-Waffe	biologische Waffe
BWB	Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung
C3	Command, Control and Communications
C3	Consultation, Command and Control
C4ISR	Command, Control, Communications, Computers, Intelligence, Surveillance and Reconnaissance
CAP	Civil Aviation Publication
CAV	Common Aero Vehicle
CBRN	chemisch, biologisch, radiologisch, nuklear

CBRNE	chemische, biologische, radiologische, nukleare, Explosivstoff-Bedrohungen
CBW	chemische/biologische Waffe, chemical/biological warfare
CCD	Camouflage, Concealment, and Decoys
CDL	Common Data Link
CEP	circular error probable
CNS	Center for Nonproliferation Studies
COCOM	Coordinating Committee on Multilateral Export Controls (überholt)
COTS	commercial off the shelf
CTBT(O)	Comprehensive Test Ban Treaty (Organisation)
C-Waffe	chemische Waffe
CWÜ	Chemiewaffen-Übereinkommen
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DDR	Deutsche Demokratische Republik
DEOS	Deutsche Orbitale Servicing Mission
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFKI	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DFS	Deutsche Flugsicherung
DGLR	Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt
DHS	Department of Homeland Security
DIN	Deutsches Institut für Normung
DISA	Defense Information Systems Agency
DIY	Do It Yourself
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DOD	Department of Defense
DSO	Defense Sciences Office
EASA	European Aviation Safety Agency
ECE	Economic Commission for Europe (of the UN)
EDA	European Defence Agency
EG	Europäische Gemeinschaft (bzw. EG-Vertrag)
EHF	Extremely High Frequency
ELROB	European Land-Robot Trial
EMI	Ernst-Mach-Institut
EN	Europäische Norm
ENAC	Ecole Nationale de l'Aviation Civile

EP	Europäisches Patent
ESA	European Space Agency
EU	Europäische Union
EuroCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment
EWG	Europäische Wirtschaftsgemeinschaft
FAA	Federal Aviation Administration
FCS	Future Combat System(s)
FEEA	Forschung, Entwicklung, Erprobung, Auswertung
FGAN	Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften
FHR	Forschungsinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik
FKIE	Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie
FINAS	Flight in Nonsegregated Air Space
FOM	Forschungsinstitut für Optronik und Mustererkennung
FPGA	Field Programmable Gate Array
FSK	Forum für Sicherheitskooperation (der KSZE)
FuE	Forschung und Entwicklung
FY	Fiscal Year
GA	Genfer Abkommen
GAO	Government Accountability Office
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
GIG	Global Information Grid
GLBM	Ground Launched Ballistic Missile
GLCM	Ground-launched Cruise Missile
GPS	Global Positioning System
HAIP	High Assurance Internet Protocol Encryption
HALE	High Altitude Long Endurance
HCOC	Hague Code of Conduct against Ballistic Missile Proliferation
HDTV	High Definition Television
HLEG	High Level Expert Group
HSFK	Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
IAF	Institut für Angewandte Festkörperphysik
IAI	Israel Aerospace Industries

IAIS	Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme
ICAO	International Civil Aviation Organisation
ICBM	Intercontinental Ballistic Missile
ICT	Institut für Chemische Technologie
IFALPA	International Federation of Air Line Pilots' Associations
IFATCA	International Federation of Air Traffic Controllers' Associations
IFATS	Innovative Future Air Transport System
IIS	Institut für Integrierte Schaltungen
IITB	Institut für Informations- und Datenverarbeitung
IKRK	Internationales Komitee vom Roten Kreuz
IMI	Israel Military Industries
IMO	International Maritime Organization
INF	Intermediate-range Nuclear Forces
INMARSAT	International Maritime Satellite Organization (überholt)
INOUI	Innovative Operational UAS Integration
INT	Institut für Naturwissenschaftlich-technische Trendanalysen
IP	Internet Protocol
IPTO	Information Processing Techniques Office
ISO	International Organization for Standardization
IST	Information Systems Technology
IStGH	Internationaler Strafgerichtshof
JAA	Joint Aviation Authorities (of Europe)
JAPCC	Joint Air Power Competence Centre
JAR	Joint Aviation Requirements
JAUS	Joint Architecture for Unmanned Systems
JCGUAV	Joint Capability Group on UAVs
JETEC	Joint Expendable Turbine Engine Concept
JGRE	Joint Ground Robotics Enterprise
JIPT	Joint Integrated Product Team (for UAS Airspace Integration)
JP	Joint Publication
JTRS	Joint Tactical Radio System
J-UCAS	Joint Unmanned Combat Air System
KSE	Konventionelle Streitkräfte in Europa
KSZE	Konferenz für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa

LACM	Land-Attack Cruise Missile
LKW	Lastkraftwagen
LIDAR	Light/Laser Detection and Ranging
Ltr ML	Leiter Musterprüfwesen für Luftfahrtgerät (WTD 61)
LuftGerPV	Verordnung zur Prüfung von Luftfahrtgerät
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftVO	Luftverkehrs-Ordnung
LuftVZO	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
LUNA	Luftgestützte Unbemannte Nahaufklärungs-Ausstattung
MALE	Medium Altitude Long Endurance
MAV	Micro-Air/Aerial Vehicle
MCWL	Marine Corps Warfighting Laboratory
MDARS	Mobile Detection Assessment and Response System
M-ELROB	Military European Land-Robot Trial
MG	Maschinengewehr
MilSat	Militärischer Satellit
MIPS	million instructions per second
MTCR	Missile Technology Control Regime
MTO	Microsystems Technology Office
MUAV	Mini Unmanned Aerial Vehicle
MULE	Multifunctional Utility/Logistics and Equipment Vehicle
MVW	Massenvernichtungswaffe
NASA	National Air and Space Administration
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NCDR	National Center for Defense Robotics
NDIA	National Defense Industry Association
NLR	Niederländisches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
NRC	National Research Council
NRL	Naval Research Laboratory
NSA	National Security Agency
NSA	NATO Standardization Agency
OAT	Operational Air Traffic
ONR	Office of Naval Research
OSD	Office of the Secretary of Defense

OSZE	Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa
OUSD (AT&L)	Office of the Undersecretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics
OVCW	Organisation für das Verbot chemischer Waffen
PC	Personal Computer
PerMIS	Performance Metrics for Intelligent Systems
PRK	Präventive Rüstungskontrolle
PSI	Proliferation Security Initiative
REMUS	Remote Environmental Monitoring UnitS
Rn.	Randnummer
RPV	Remotely Piloted Vehicle
RTA	Research & Technology Agency
RTCA	Radio Technical Commission for Aeronautics (überholt)
RTFA	Rüstungstechnologiefolgenabschätzung
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule
SAATEG	System für die Abbildende Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebiets
SAIC	Science Applications International Corporation
SAR	Search and Rescue
SAR	Synthetic Aperture Radar
SARPs	Standards and Recommended Practices
SATCOM	Satellite Communications
SIGINT	Signals Intelligence
SIPRI	Stockholm International Peace Research Institute
SLBM	Sea-Launched Ballistic Missile
SLCM	Sea-Launched Cruise Missile
SOFIA	Safe automatic flight back and landing
SORT	Strategic Offensive Reduction Treaty
SPAWAR	Space and Naval Warfare Systems Center
STO	Strategic Technology Office
SRÜ	Seerechtsübereinkommen
SSL	Secure Socket Layer
STANAG	Standardization Agreement
START	Strategic Arms Reduction Treaty
StVG	Straßenverkehrsgesetz

StVZO	Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung
SUGV	Small Unmanned Ground Vehicle
SWP	Stiftung Wissenschaft und Politik
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
TATRC	Telemedicine and Advanced Technology Research Center (im USAMRMC)
TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TLS	Transport Layer Security
TRL	Technology Readiness Level
TSAT	Transformational Satellites
TU	Technische Universität
TUAV	Tactical Unmanned Aerial Vehicle
UAPO	Unmanned Aircraft Program Office
UAS	Unmanned/Uninhabited Air/Aerial System
UASSG	Unmanned Aircraft System Study Group (der ICAO)
UAV	Unmanned/Uninhabited Air/Aerial Vehicle
UAV DACH	Deutschsprachige Arbeitsgruppe für Unbemannte Luftfahrzeuge
UCAR	unmanned combat aerial rotorcraft
UCAS	Unmanned Combat Air/Aerial System
UCAS-D	Unmanned Combat Aircraft System – Carrier Demonstration
UCAV	Unmanned Combat Air/Aerial Vehicle
UGCV	Unmanned/Uninhabited Ground Combat Vehicle
UGS	Unmanned/Uninhabited Ground System
UGV	Unmanned/Uninhabited Ground Vehicle
UHF	Ultrahigh Frequency
UK	United Kingdom
UMS	Unmanned System
UN(O)	United Nations (Organization)
US(A)	United States (of America)
USAMRMC	U.S. Army Medical Research and Materiel Command
USCENTAF	U.S. Air Forces Central
USS	Unmanned/Uninhabited Surface System
USV	Unmanned/Uninhabited Surface Vehicle
UUS	Unmanned/Uninhabited Undersea/Underwater System
UUV	Unmanned/Uninhabited Undersea/Underwater Vehicle/Vessel

UVS	Unmanned Vehicle Systems
VAATE	Versatile Affordable Advanced Turbine Engines
VkBl	Verkehrsblatt
VN	Vereinte Nationen
VO	Verordnung
VSBM	vertrauens- und sicherheitsbildenden Maßnahmen
VStGB	Völkerstrafgesetzbuch
VUSIL	Validierung von UAVs zur Integration in den Luftraum
WASLA	Weitreichende abstandsfähige signalerfassende luftgestützte Aufklärung
WMD	weapon of mass destruction
WRV	Weltraumvertrag
WTD	Wehrtechnische Dienststelle
WTO	World Trade Organization
ZDv	Zentrale Dienstvorschrift
Ziff.	Ziffer
ZP	Zusatzprotokoll