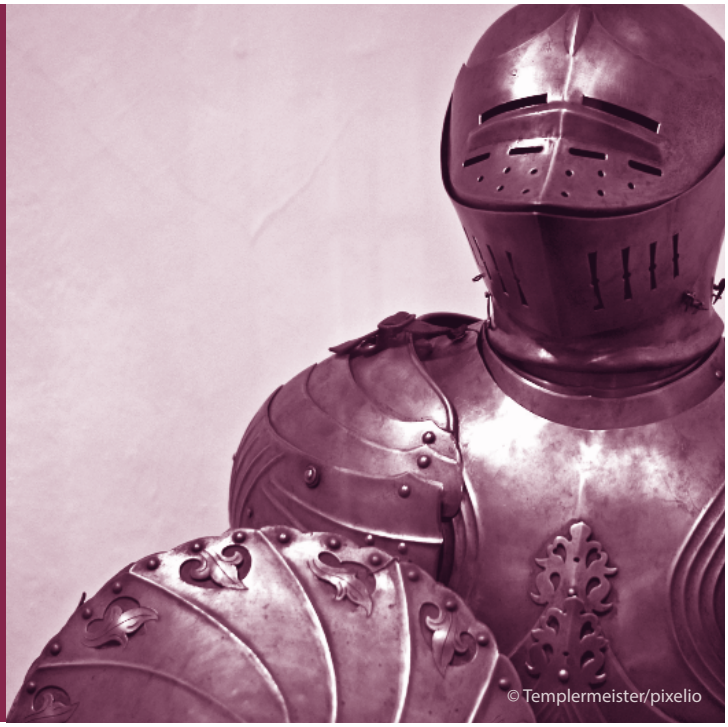
BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Thomas Petermann
Reinhard Grünwald

Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme

Endbericht zum TA-Projekt

Mai 2011
Arbeitsbericht Nr. 144



© Templermeister/pixelio

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG 5

I. EINLEITUNG 19

1. Beauftragung 20

2. Aufbau des Berichts 20

3. Zusammenarbeit mit Gutachtern 23

II. UNBEMANNTE SYSTEME: EIN ÜBERBLICK 25

1. Definition und Abgrenzung 25

2. Kategorien 28

3. Unbemannte fliegende Systeme 32
3.1 UAVs in Deutschland 34
3.2 Weitere UAV-Aktivitäten 44
3.3 UAVs in den USA 46

4. Unbemannte Bodensysteme 49
4.1 UGVs in Deutschland 50
4.2 UGVs in den USA 54

5. Unbemannte Systeme zu Wasser 59
5.1 USVs/UUVs in Deutschland 62
5.2 UUVs/USVs in den USA 64

III. UNBEMANNTE SYSTEME IN DER BUNDESWEHR: KONZEPTE, EINSATZSZENARIEN, FÄHIGKEITEN 69

1. Bundeswehrgemeinsame Konzepte 70
1.1 Konzeptioneller Rahmen 70
1.2 Einsatzhintergründe und Ziele 72

2. Unbemannte Systeme der Streitkräftebasis 75
2.1 Konzepte 75
2.2 Einsatzhintergründe 75
2.3 Fähigkeiten und Systeme 76

3. Unbemannte Systeme im Heer 77
3.1 Konzepte 77
3.2 Einsatzhintergründe und Fähigkeiten 77
3.3 Systeme 81

4. Unbemannte Systeme der Marine 84
4.1 Konzepte 85
4.2 Einsatzhintergründe 86
4.3 Fähigkeiten und Systeme 89

5. Unbemannte Systeme der Luftwaffe 90
5.1 Konzepte 90
5.2 Einsatzhintergründe 92
5.3 Fähigkeiten und Systeme 95

IV. TECHNOLOGIEN UND SYSTEME 99

1. Technologien 99
1.1 Antrieb und Energieversorgung 100
1.2 Leitsysteme 106
1.3 Navigation 108
1.4 Planungssysteme 109
1.5 Datenübertragung/Kommunikation 111
1.6 Nutzsensorik 113
1.7 Autonomie 116

2. Querschnittstechnologien 120
2.1 Informationstechnologie und Elektronik 120
2.2 Neue Materialien 122
2.3 Biotechnologie und Biomimetik 124
2.4 Nanotechnologie/Mikrosystemtechnik 124
2.5 Zukunftsperspektiven von Querschnittstechnologien 125

3. Einsatzszenarien und Systementwicklungen in der Zukunft – ein Ausblick 126
3.1 Komplexität von Missionen und Systemen 126
3.2 Zukünftige Systeme in ausgewählten Szenarien 128

V. ÖKONOMISCHE ASPEKTE UNBEMANNTER SYSTEME 141

1. Märkte 141

2. Kosten und Kostenvergleiche 147
2.1 Anmerkungen zu Kostenarten und Kostenelementen 147
2.2 Beispielhafte Einsatz- und Kostenvergleiche 150

3. Perspektiven ziviler Anwendungen 156

4. Unbemannte Systeme als Innovationen 161
4.2 Innovationsblockaden und -perspektiven 164
4.3 Unbemannte Systeme und nationale wehrtechnische Fähigkeiten 170

VI. UNBEMANNTE SYSTEME IM LICHT VORBEUGENDER RÜSTUNGSKONTROLLE 175

1. Rüstungs- und Exportkontrollverträge und ihre Relevanz für unbemannte Systeme 177
1.1 Rüstungskontrollverträge 177
1.2 Multilaterale Vereinbarungen zur Exportkontrolle 187

2. Völkerrechtliche Aspekte des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt 193
2.1 Prüfungspflicht (Artikel 36 ZP I) 194
2.2 Einsatz von unbemannten Systemen für Aufklärungszwecke 195
2.3 Bewaffnete unbemannte Systeme 196

3. Sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Folgen einer breiten Einführung von unbemannten Systemen 207
3.1 Gründe für eine rüstungskontrollpolitische Bewertung 207
3.2 Beurteilung unter Stabilitätsaspekten 208
3.3 Nutzung durch substaatliche Akteure 213
3.4 Exkurs: unbemannte fliegende Systeme und konventionelle Bomben 215

VII. INFORMATIONS- UND DISKUSSIONSBEDARF, HANDLUNGSFELDER 217

LITERATURVERZEICHNIS 229

1. In Auftrag gegebene Gutachten 229

2. Weitere Literatur 229

ANHANG 247

1. Technologieprogramme der DARPA mit Relevanz für UMS 247
2. EU-Fördermaßnahmen für UAVs 250
3. Fördermaßnahmen für UAVs in Deutschland 264
4. Deutsche Firmen mit Kompetenzen im Sektor unbemannte Systeme (Auswahl) 269
5. Tabellenverzeichnis 270
6. Abbildungsverzeichnis 272
7. Abkürzungsverzeichnis 270

ZUSAMMENFASSUNG

Im ersten Jahrzehnt dieses Jahrhunderts ist die Zahl der Einsätze unbemannter Systeme (UMS) in bewaffneten Konflikten wie im Irak und in Afghanistan drastisch angestiegen. Fliegende Systeme waren Hunderttausende Stunden zur Aufklärung und zur Bekämpfung des Gegners im Einsatz, robotische ferngesteuerte Systeme am Boden wurden in unzähligen Missionen, insbesondere zur Entdeckung und Räumung von Sprengmitteln, eingesetzt. Durch die Abstandsfähigkeit solcher aus oft großer Entfernung gesteuerten Systeme wird den Streitkräften die Möglichkeit eröffnet, zahlreiche Missionen bei minimaler Gefährdung von Soldaten durchzuführen, da diese dem Wirkbereich feindlicher Kräfte entzogen bleiben. Dadurch können nicht nur Fähigkeiten wie Nachrichtengewinnung und Aufklärung oder Wirksamkeit im Einsatz verbessert, sondern auch neuartige Optionen auf dem Gefechtsfeld, insbesondere in hochriskanten Einsatzumgebungen, erschlossen werden. Schließlich erhofft man sich durch die Substituierung bemannter durch unbemannte Systeme bedeutende Kostenvorteile. Es werden aber auch Bedenken vorgebracht, dass durch die Option, Einsätze ohne Risiko für die Soldaten durchzuführen, in einer Krise die Konfliktschwelle abgesenkt wird oder das Risiko einer kriegerischen Auseinandersetzung – z. B. infolge eines Unfalls oder eines Versehens – steigt. Über die militärische Nutzung hinaus werfen unbemannte Systeme weitere Fragen auf, wie nach der Rolle des technischen Fortschritts, der Transformation der Streitkräfte, der zivilen Anwendungsmöglichkeiten und deren ökonomischen Potenziale. Unbemannte Systeme verbinden sich zudem mit ethischen, völkerrechtlichen sowie rüstungskontrollpolitischen Erwägungen. Dadurch erweist sich der komplexe Themenbereich unbemannter Systeme als Gegenstand von erheblicher forschungs-, industrie-, innovations- und sicherheitspolitischer Bedeutung.

BEAUFTRAGUNG

Auf Initiative des Verteidigungsausschusses wurde das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) mit einer Bestandsaufnahme und Folgenabschätzung zu aktuellen nationalen und internationalen Entwicklungen und Perspektiven von UMS beauftragt. Die Schwerpunkte des Berichts sind die folgenden:

- Übersicht des Spektrums unbemannter Systeme (Deutschland, USA);
- Entwicklungsstand und Perspektiven bei den relevanten Schlüsseltechnologien und Systemen;
- Einsatzkonzepte und Szenarien in der Bundeswehr;
- ökonomische Aspekte und innovationspolitische Relevanz;

- sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Einordnung unter Berücksichtigung von Proliferationsrisiken und terroristischen Bedrohungsszenarien;
- luft- und verkehrsrechtliche sowie völkerrechtliche Aspekte.

DEFINITION

Unbemannte Systeme sind zumeist wiederverwendbare angetriebene Geräte, die keinen Bediener tragen und autonom oder ferngesteuert Missionen durchführen. Eine eindeutige Abgrenzung unbemannter Systeme anhand technischer oder operativer Kriterien gegenüber Systemen wie Marschflugkörpern und Torpedos ist nicht möglich. Unter dem Gattungsbegriff unbemannter Systeme sind einerseits Systeme für die verschiedenen Bewegungsmedien Land, Luft, über und unter Wasser zusammengefasst. Andererseits sind darunter die verschiedenen Komponenten unbemannter Systeme subsumiert: Ein unbemanntes System kann neben dem eigentlichen Fahrzeug weitere Bestandteile umfassen, wie eine (bemannte) Steuerstation, eine Start- oder Absetzvorrichtung, eine Kommunikationsverbindung, ein Lande- oder Aufnahmesystem, eine Instandsetzungseinheit sowie diverse Hilfsvorrichtungen.

Derzeit reicht das Größenspektrum unbemannter Luftsysteme von libellengroßen Kleinstaufklärern bis zu unbemannten strategischen Aufklärungsflugsystemen in den Dimensionen eines Verkehrsflugzeugs. Im Bereich der mittleren bis großen Klassen sind neben Aufklärern auch bewaffnete Systeme realisiert. Im Einsatz befindliche unbemannte Bodenfahrzeuge umfassen durch eine Person tragbare Geräte, aber auch Systeme mit den Ausmaßen eines Kampfpanzers. Ihr überwiegender Einsatzzweck ist die Kampfmittelräumung. Das Größen- und Einsatzspektrum unbemannter Seefahrzeuge ist noch stark eingeschränkt. Auf dem Wasser operierende Systeme sind bis zu 11 m lang und bisher nur für den küstennahen Einsatz ausgelegt. Unterwasserfahrzeuge werden vorrangig zur Minenbekämpfung eingesetzt.

UNBEMANNTE SYSTEME IN DER BUNDESWEHR: KONZEPTE, FÄHIGKEITEN, TRANSFORMATION

Als eine Armee im Einsatz ist die Bundeswehr ein Akteur internationaler Konfliktverhütung und Krisenbewältigung einschließlich des Kampfes gegen den internationalen Terrorismus geworden. Um den daraus resultierenden Herausforderungen auch von Kampfeinsätzen gerecht werden zu können, werden wesentlich verbesserte Fähigkeiten als erforderlich angesehen. Deshalb werden Fortschritte in den Kategorien Führungsfähigkeit, Nachrichtengewinnung und Aufklärung, Mobilität, Wirksamkeit im Einsatz, Unterstützung und Durchhaltefähigkeit, Überlebensfähigkeit und Schutz angestrebt.

Die Bundeswehr plant, unbemannte Systeme in Zukunft weit stärker als bisher zum Einsatz zu bringen. Diese Perspektive gründet sich auf die Erwartung, dass diese vor allem zu einer verbesserten Nachrichtengewinnung und Aufklärung sowie einem erhöhten Schutz der Truppe beitragen. Mittelfristig wird aber auch die Fähigkeit zum Einsatz von Wirkmitteln angestrebt. Insbesondere in den Überlegungen der Luftwaffe wird eine kontinuierliche Fähigkeitsausweitung von unbemannten fliegenden Systemen angestrebt, die u. a. Lufttransport, Luftbeladung und Luftkampf einschließt. Die Diskussion um Einsatzkonzepte, Fähigkeitsforderungen der Teilstreitkräfte, Anforderungen an die Systeme und die schrittweise Integration in die Streitkräfte ist im Fluss. Entsprechende Einsatzkonzepte und konkrete Beschreibungen für Einsatzhintergründe und -szenarien werden durch den Führungsstab Streitkräfte entwickelt. Eine Diskussion über eine zukünftig weiter verstärkte Nutzung unbemannter Systeme durch die Bundeswehr ist auch vor dem Hintergrund der politisch definierten Zielsetzungen der Streitkräfte und ihres durch die Streitkräfte angestrebten erweiterten Fähigkeitsprofils zu führen. Es sollten dabei aktuelle Überlegungen sowie Ansätze stärker verfolgt und ggf. neu entwickelt werden, die auf streitkräftegemeinsame Konzepte in internationalen Missionen zielen. Bedacht werden sollten sowohl die technischen Dimensionen als auch die Begründung und Definition von Einsatzszenarien und Fähigkeitsforderungen bezüglich multinationaler Operationen. Unumgänglich erscheint zudem eine offenere Diskussion von Trends der zunehmenden Autonomie sowie der angestrebten Nutzung von unbemannten Systemen als Waffenträger.

TECHNOLOGIEN UND SYSTEME

Die bisherige Entwicklung unbemannter Systeme zeigt vor allem zwei Charakteristika. Zum einen werden Parameter wie Schnelligkeit, Reichweite, Ausdauer, Agilität oder die mitgeführte Nutzlast fortwährend gesteigert. Zum anderen wird eine immer höhere Missionsautonomie erreicht. Dadurch sind heute unbemannte Systeme in einem breiten Größenspektrum für eine Vielfalt von Aufgaben – von Aufklärung und Überwachung bis hin zum Kampfeinsatz – verfügbar. Insbesondere unbemannte Luftfahrzeuge haben sich über eine Funktion als Aufklärer hinaus als Waffenplattform in sogenannten Hunter-Killer-Missionen etabliert. Eine vergleichbare Vielfalt von Funktionen ist für unbemannte Fahrzeuge zu Land und zu Wasser derzeit noch nicht realisiert. Unbemannte Landsysteme werden bisher fast ausschließlich fernpilotiert zur Kampfmittelräumung eingesetzt. Den am wenigsten fortgeschrittenen technologischen Entwicklungsstand weisen derzeit unbemannte Über- und Unterwassersysteme auf. Insbesondere unbemannte Überwasserfahrzeuge standen lange nicht im Zentrum des Interesses der Seestreitkräfte. Weltweit sind bisher nur Fahrzeuge der kleineren Klassen regelmäßig im Einsatz. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Minenbekämpfung.

Wie bereits bisher wird auch zukünftig die Entwicklung leistungsstarker Systeme zur Erfüllung komplexer und häufig langandauernder Missionen von Fortschritten in den relevanten Schlüsseltechnologien abhängen. Von besonderer Bedeutung sind die Technologiefelder Antrieb und Energieversorgung, Leitsysteme, Navigation, Planungssysteme, Datenübertragung und Kommunikation, Nutzsensorik sowie Autonomie. Darüber hinaus erhöhen auch Querschnittstechnologien wie Informationstechnik oder Biotechnologie die Leistungsfähigkeit unbemannter Systeme.

ENERGIE UND ANTRIEB

Energiespeicher und -wandler sind für UMS Schlüsseltechnologien, da deren Fortschritte Qualitätssprünge bei ihren Fähigkeiten, wie Einsatzdauer und Geschwindigkeit, aber auch Nutzlastkapazität, auslösen und somit die Missionsvielfalt erhöhen können. In den letzten Jahren gibt es einen deutlichen Trend zu elektrischen Antrieben. Vor allem bei kleinen bis mittleren UMS werden diese inzwischen flächendeckend eingesetzt. Bei großen Systemen kommen Hybridantriebe (Verbrennungsmotoren bzw. Turbinen kombiniert mit elektrischen Komponenten) verstärkt zur Anwendung.

Eine Möglichkeit zur Energieversorgung mobiler Systeme, die mittel- bis langfristig an Bedeutung gewinnen könnte, ist, elektrische Energie aus der Umgebungsenergie zu gewinnen. Prinzipiell lässt sich auch bei UMS eine Vielzahl unterschiedlicher natürlicher Energieträger (z. B. Sonneneinstrahlung, Wind, Strömung bzw. Wellenbewegung im Wasser, elektromagnetische Wellen, Schall) nutzen. Bei Batterien und Akkus werden weitere Fortschritte bei der Energiedichte zu erwarten sein, da dieses Segment kommerziell von hohem Interesse ist. Verbesserungen deuten sich auch bei Brennstoffzellen an, sodass ihre Nutzung in größeren Systemen zu erwarten ist.

INFORMATIONSTECHNOLOGIEN (NAVIGATION, LEITSYSTEME, PLANUNGSSYSTEME)

Navigation, Leit- und Planungssysteme profitieren von Leistungssteigerungen bei elektronischen Komponenten und Fortschritten in der Forschung zur künstlichen Intelligenz. Eine verbesserte Sensorik erlaubt eine von externen Signalen unabhängige Selbstlokalisation vor allem durch die optische Erkennung von Landmarken (»scene matching«), des Höhenprofils unter der Flugbahn bzw. unter Wasser des Tiefenprofils (»terrain contour matching«) und die Detektion des Erdmagnetfelds. Insbesondere zu Land tritt als Hauptaufgabe hinzu, Hindernisse zu erkennen und ihnen auszuweichen. Leitsysteme realisieren bereits weitgehend eine robuste Hindernisvermeidung, das selbstständige Durchqueren schwieriger Umgebungen wird derzeit praktisch erprobt. Fortgeschrittene Planungssysteme ermöglichen ein selbstständiges Abfahren festgelegter Routen und die automa-

tische Rückkehr zum Ausgangspunkt einer Mission. Die langfristige und grundsätzliche Zielsetzung dieser Entwicklung ist die Befähigung individueller Systeme zu einem eigenständigen Selbsterhaltungstrieb. Langfristig sind innovative Planungssysteme zu erwarten, die mehrere, möglicherweise unterschiedlich aufgebaute und mit verschiedenartigen Fähigkeiten ausgestattete Roboter zu einem Team oder einem Schwarm vereinen. Durch Entwicklungen wie diese könnte sich die Fähigkeit unbemannter Systeme, auch in schwierigem und unbekanntem Gelände (semi)autonom zu agieren, deutlich verbessern.

DATENÜBERTRAGUNG/KOMMUNIKATION

Bei Aufklärungs- und Überwachungsmissionen, insbesondere fliegender unbemannter Systeme, kommt eine Vielfalt von Bild- und Radarsensoren zum Einsatz, wodurch enorme Mengen von Daten anfallen können. Für die Übertragung der Daten zum Einsatzzentrum sowie für die Kommunikation untereinander stehen sowohl kabelgebundene als auch kabellose Techniken zur Verfügung. Kabellose Systeme benötigen eine entsprechende Infrastruktur (Satelliten, Funknetzwerke). Kabel sind zwar weniger leicht zu handhaben, bieten jedoch deutliche Vorteile, was Übertragungsbandbreite und Latenz anbelangt. Für Unterwasserkommunikation sind sie noch unverzichtbar. Hohe Übertragungsbandbreiten sind vor allem für Aufklärungsmissionen essenziell. Bei multispektralen Bildern mit großem Gesichtsfeld und hoher Auflösung oder bei der Übertragung des vollen Phasenverlaufs des Radars stoßen die gegenwärtig verfügbaren Bandbreiten an ihre Grenzen.

Der technische Fortschritt bei Kommunikationssystemen wird derzeit vorwiegend durch innovative zivile Anwendungen vorangetrieben. Bei den kabelgebundenen Systemen sind Fortschritte vor allem im Bereich der Glasfasertechnik und durch Miniaturisierung und Leistungsverbesserungen von Lasersystemen zu verzeichnen. Im Bereich der kabellosen Kommunikation werden neue Technologien und Standards die Geschwindigkeit der Datenübertragung in den Netzwerken der vierten Generation mittelfristig deutlich steigern. Auch in der Unterwasserkommunikation erwartet man deutlich erhöhte Datenraten.

Eine der größten Herausforderungen ist die Integration der vielen verschiedenen, historisch gewachsenen Informationsverarbeitungssysteme zu einer funktionierenden Einheit. Um die Interoperabilität der Systeme zu gewährleisten, sind umfangreiche Arbeiten zu Normen und Standards erforderlich. Besondere Anstrengungen gelten der Informationssicherheit, wobei in der Regel auf zivile Protokolle aufgesetzt wird.

NUTZSENSORIK

Viele der militärisch verwendbaren Sensorarten und -technologien zur Detektion akustischer, elektromagnetischer und optischer Signale sind nicht spezifisch für

unbemannte Systeme. Oft kann auf bereits eingeführte Technik zurückgegriffen werden. Generelle Entwicklungsziele für Sensoren unbemannter Systeme sind Verringerung von Größe, Gewicht und Energieverbrauch. Perspektivisch sollen Sensorsysteme autonom relevante Objekte suchen und erkennen sowie die Navigation im Schwarm unterstützen. Fernziel ist die Annäherung an menschenähnliche Wahrnehmungsfähigkeiten bei der Analyse und Bewertung der aufgenommenen Informationen, sogenannte »kognitive Sensoren«. Langfristig könnten echte »kognitive Sensoren« entwickelt werden, die nicht nur Daten sammeln, sondern über eine semantische Analyse der gemessenen Parameter ihre Umgebung »verstehen«.

QUERSCHNITTSTECHNOLOGIEN

Fortschritte bei Querschnittstechnologien sind oft ein Schlüssel für Durchbrüche in anderen Technologiebereichen. Zu nennen sind hier in erster Linie Computer- und Informationswissenschaft und -technik, Materialwissenschaft und Materialtechnik sowie Biowissenschaft und Biotechnik. Nanotechnologien und Mikrosystemtechnik beispielsweise spielen eine wichtige Rolle bei der stetig steigenden Leistungsfähigkeit und Miniaturisierung von Bauteilen, neue Materialien führen zu leichteren und widerstandsfähigeren Systemen, einer verringerten Radarsignatur oder zur Effizienzsteigerung bei Akkumulatoren.

SYSTEMTRENDS

Viele der beschriebenen Fortschritte in den relevanten Technologiefeldern ermöglichen eine zunehmend autonome Missionserfüllung. *Autonomie* ist eine Schlüsselfähigkeit unbemannter Systeme, die immer komplexere Missionen, auch im Team mit anderen bemannten und unbemannten Einheiten, ermöglicht. Ein erklärtes Ziel ist es deshalb, zukünftig menschliche Bediener so weit wie möglich durch autonome technische Systeme zu ersetzen. Ein hoher Grad von Autonomie muss allerdings unter technologischen und finanziellen Gesichtspunkten nicht uneingeschränkt erstrebenswert sein. So steigt mit der Autonomie auch die Komplexität der Systeme erheblich an, was sich negativ auf ihre Lebenszykluskosten, Robustheit und Zuverlässigkeit auswirken kann.

Bei unbemannten *Flugsystemen* konzentrieren sich die Bemühungen in den oberen Größenklassen darauf, das Fähigkeitsspektrum, beispielsweise durch die Verbesserung der Tarnung sowie die Erhöhung von Nutzlast (Waffen und Sensoren) und Reichweite, an das bemannter Systeme anzunähern. Perspektivisch ist die Entwicklung unbemannter Systeme zur Bekämpfung auch weitentfernter strategischer Ziele und für den Luftkampf zu erwarten. Im Bereich kleiner bis mittlerer Flugsysteme dürfte eine Verbesserung der Wirkfunktion im Vordergrund stehen. Eine Option ist der Einsatz unbemannter Systeme als Waffenplatt-

formen für den Nächstbereich (beispielsweise in urbanem Gelände), um die Wirkung gegen feindliche Ziele auch ohne direkte Sichtverbindung zu ermöglichen.

Bei unbemannten *Landsystemen* sind Schwerpunkte die Diversifizierung der Missionen und die Erhöhung der Autonomie. Transport- und Konvoimissionen ebenso wie Wach- und Schutzaufgaben werden hierbei zentrale Ziele bleiben. Insbesondere in den USA sind auch Bestrebungen zur Realisierung von Systemen mit geringerem Anspruch an Navigations-, Bewegungs- und Überlebensfähigkeit erkennbar. Angedachte Aufgaben sind beispielsweise Instandsetzung, Wartung, Betankung und Munitionierung von verschiedenen Plattformen.

Ausgehend von einem vergleichsweise geringen technologischen Entwicklungsstand unbemannter *Seesysteme* zielen Entwicklungsprogramme auf die Erweiterung des Größenspektrums ab. Es ist davon auszugehen, dass nach erfolgreichem Abschluss entsprechender Tests in den nächsten Jahren mit Beschaffung und Einsatz größerer Systeme zu rechnen ist. Ferner wird die Erschließung weiterer Funktionen angestrebt. Neben der Bekämpfung von Minen sind Aufgaben im Bereich der Aufklärung bis hin zur großräumigen Ozeanüberwachung sowie der Einsatz als Kommunikationsknoten in einem Networkcentric-Warfare-Szenario bei vernetzten Operationen von großem militärischem Interesse. Übergreifend ist schließlich ein Trend zur Erhöhung der Autonomie der Systeme zu konstatieren.

MARKT UND MARKTSTRUKTUREN

Aufgrund der sehr unsicheren und oft intransparenten Datenlage zur wirtschaftlichen Bedeutung unbemannter Systeme sind darauf bezogene Aussagen mit Vorsicht zu treffen. Es lässt sich aber sagen, dass der Markt für unbemannte Systeme von militärischen Flugsystemen dominiert wird und im letzten Jahrzehnt kontinuierlich angewachsen ist. Der zivile Anteil im Gesamtsektor ist bis heute marginal geblieben. Im deutlich kleineren Gesamtmarkt für unbemannte Bodensysteme erreichen zivile Anwendungen etwa ein Viertel Umsatzanteil, beispielsweise mit Fahrzeugen, die zur Bombenentschärfung und in Katastrophenfällen eingesetzt werden. In dieser Hinsicht bildet der maritime Bereich, der den kleinsten Teilmarkt darstellt, eine Ausnahme. Der Umsatz mit zivil genutzten Systemen ist deutlich höher als der von militärischen und kann auf etwa drei Viertel taxiert werden. Insbesondere Rohstoff-, Öl- und Gasindustrie sind wichtige Nachfrager. In allen Teilmärkten tragen Forschung und Entwicklung erheblich zur Generierung von Umsätzen bei. Zunehmend steigen aber auch die Aufwendungen für die Beschaffung.

Der globale Markt für unbemannte Flugsysteme wird von U.S.-amerikanischen Firmen beherrscht. Eine herausragende Rolle spielen auch israelische Firmen. Zu den deutlich kleineren Märkten für unbemannte See- und Landfahrzeuge lassen

sich nur wenig belastbare Informationen finden. Es ist aber plausibel anzunehmen, dass auch hier U.S.-amerikanische Firmen die größten Umsätze aufweisen.

Der Umfang des internationalen Handels mit großen UAVs ist, verglichen mit dem für bemannte Flugzeuge, zurzeit eher gering. Beispielsweise wurden von 2000 bis 2009 etwa 580 Systeme transferiert (bemannte Luftfahrzeuge etwa 10.550). Gemessen an den reinen Stückzahlen dominiert die israelische Industrie mit gut 230, die USA lieferten 84, Frankreich 79 Einheiten. Bei den insgesamt 39 Empfängerländern liegen die Vereinigten Arabischen Emirate mit etwa 90 Systemen (davon 80 unter Lizenz produziert) an der Spitze, es folgen Indien mit 68, Rumänien mit 65, und Pakistan mit 55 Einheiten.

Schätzungen aus der Industrie sowie von Beratungsunternehmen, die deren Daten nutzen, lassen für die einzelnen Teilmärkte auch zukünftig Zuwächse erwarten. Für unbemannte Flugsysteme wird in den nächsten Jahren eine deutlich steigende Nachfrage nach kompletten Systemen (Fluggerät, Bodenstation, Nutzlast) ebenso wie nach Forschungs- und Entwicklungsprojekten erwartet. Hinsichtlich der Struktur des Marktes wird es zumindest in den nächsten zehn Jahren bei der starken Stellung U.S.-amerikanischer Firmen und nur langsam wachsender ziviler Marktanteile bleiben. Für unbemannte Landfahrzeuge werden Zuwächse sowohl im zivilen Sicherheitsmarkt als auch im militärischen Bereich angenommen. Der globale Markt für unbemannte maritime Systeme könnte durch die zunehmende Exploration von Bodenschätzen auf dem Meeresgrund sowie den Bau, die Wartung und die Überwachung von Versorgungs- und Abflussleitungen innerhalb der nächsten Jahre anwachsen. Dabei wird eine sukzessive Umstellung von ferngesteuerten auf autonome Systeme erfolgen.

KOSTEN

Häufig werden als Argument für unbemannte Systeme die geringeren Kosten gegenüber bemannten Systemen genannt. Dies trifft bei einigen Systemen und unter bestimmten Einsatzbedingungen zu; insbesondere bei langandauernden Missionen stellen sich unbemannte Systeme aufgrund überlegener Flugdauer und Standzeiten leistungsstärker als bemannte Systeme dar. Kostenvorteile ergeben sich auch bei gefährlichen Missionen, wenn unbemannte Systeme einen aufwendigen und riskanten Einsatz von Mensch und Material substituieren können. Kosten könnten ferner dort gesenkt werden, wo insbesondere miniaturisierte Systeme mit geringerem logistischem Aufwand und reduziertem Risiko für Mensch und Gerät anstelle aufwendiger technisch-personeller Alternativen einsetzbar sind. Bei komplexeren Aufgabenkonstellationen, etwa der Grenzüberwachung, deutet sich an, dass kosteneffiziente Einsatzoptionen in der Kombination bemannter und unbemannter Systeme liegen könnten.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen, wie sie bislang anhand von Systemvergleichen durchgeführt wurden, scheinen im militärischen Bereich angesichts der Dynamik der Entwicklung und der hohen Effektivität der Systeme bei der Missionserfüllung kaum noch relevant. Wie Erfahrungen in den USA zeigen, bringen aber die Ausgaben für Forschung, Entwicklung und Beschaffung mittlerweile deutliche Belastungen für die öffentlichen Haushalte mit sich. Angesichts der engen finanziellen Spielräume der öffentlichen Hand sollte hierauf frühzeitig geachtet werden.

ZIVILE ANWENDUNGEN

Die zivile (hoheitliche und privatwirtschaftliche) Nutzung unbemannter Flugsysteme ist bisher auf Nischenmärkte begrenzt. Hierzu zählen die Überwachung von Infrastrukturen, Grenzen, Verkehr oder Sportveranstaltungen in eingeschränkten Lufträumen. Insbesondere Überwachungsaufgaben im Grenzschutz und polizeilichen Bereich dürften sich zu einem Zukunftsmarkt entwickeln. Im Teilmarkt der unbemannten Landsysteme wird mittelfristig mit einem begrenzten Zuwachs zu rechnen sein. Aussichtsreiche Einsatzfelder könnten Überwachung und Erkundung von Gelände, Transportleitungen, Straßen und Gebäuden sowie Such- und Rettungsmissionen, beispielsweise nach Katastrophen, darstellen. Neben Katastrophenschutz und -prävention werden auch Aufgaben der polizeilichen Gefahrenvorsorge und -abwehr zunehmend mithilfe unbemannter Systeme erfüllt werden. Langfristig könnte auch der Transport von Gütern und Personen durch unbemannte Fahrzeuge erfolgen (»automated highways«). Die wirtschaftlichen Perspektiven unbemannter Seefahrzeuge lassen sich als vielversprechend einschätzen. Neben dem Schutz von Küsten und Küsteninfrastrukturen sind die wissenschaftliche und wirtschaftliche Erkundung des Meeresgrunds und der Abbau von Rohstoffen Einsatzgebiete von stark wachsendem Interesse. In diesen Zukunftsmärkten wird ein heftiger Wettbewerb herrschen, und bereits jetzt werden durch Forschung und Entwicklung, durch öffentliche Projektförderung, durch Beschaffungsprogramme und neuentwickelte Geschäftsmodelle die Weichen gestellt.

INNOVATIONSPERSPEKTIVEN

Im Zuge der zu erwartenden weiteren Transformation der Streitkräfte in hochtechnisierte Armeen, die zu weltweiten vernetzten Operationen befähigt sind, werden UMS eine zentrale Rolle spielen. Die globalen Märkte für militärische Systeme werden dementsprechend wachsen.

Aus volkswirtschaftlicher Sicht stellen sich die Entwicklung und Nutzung militärischer Systeme als Referenzmärkte dar, die die Möglichkeiten autonomer Systeme demonstrieren, technologische Fortschritte und Kostensenkungseffekte bewirken sowie die entsprechende industrielle Basis und deren FuE-Kapazitäten

stützen. Damit ist die Perspektive einer umfassenden zivilen Nutzung unbemannter Systeme eröffnet. Sie wird in Form zahlreicher Aktivitäten wie Forschung, Normung, Förderung sowie in unternehmerischen Strategien und politischen Konzepten antizipiert und vorbereitet.

Die technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Perspektiven sprechen dafür, dass UMS in zwei bis drei Jahrzehnten nicht nur einige Nischenmärkte besetzt haben werden. Entscheidend für zukünftige Innovations- und Diffusionsprozesse und damit auch für die Generierung von Wertschöpfungsketten und Skaleneffekten in Deutschland wird also sein, ob und in welchem Umfang sich ein globaler Markt für UMS auch über die militärische Sicherheitsvorsorge hinaus konstituieren wird. Zivile Sicherheitstechnologien werden vielfach als Wachstumstreiber genannt, die Transformation der Verkehrssysteme durch die Integration ferngesteuerter und autonomer Systeme wird nicht aufzuhalten sein.

Aufgrund der voraussichtlich weiter wachsenden industriepolitischen und volkswirtschaftlichen Bedeutung unbemannter Systeme steht die Frage im Raum, ob seitens der Politik der zu erwartende Innovationsprozess durch Schaffung spezifischer Rahmenbedingungen mitgestaltet werden sollte. Aufgrund der erwartbaren Bedeutung unbemannter Systeme für neue und expandierende Märkte sowie einer grundlegenden Transformation der produzierenden Wirtschaft (Luftfahrt- und Automobilindustrie) sollte zumindest geprüft werden, ob eine aktivere Haltung vorteilhaft sein könnte. Ein erster Schritt wäre zunächst eine Bestandsaufnahme des Entwicklungsstandes und absehbarer Perspektiven sowie der Voraussetzungen, die am Standort Deutschland gegeben sind.

Aktuell ist die Diffusion unbemannter Systeme in zivile privatwirtschaftliche Anwendungen noch von zahlreichen technischen Problemen sowie vom Fehlen förderlicher gesellschaftlicher und rechtlicher Rahmenbedingungen gehemmt. Bei unbemannten *Luftfahrzeugen* sind vorrangig ein Bedarf an Rechtsetzung (z. B. europäischer Rechtsrahmen, Zertifizierung, Zulassung) und technische Sicherheitsprobleme (z. B. Technologien und Standards zur Vermeidung von Kollisionen im Luftraum, Verfahren für den Notfall, z. B. Datenlinkausfall) zu nennen. Derzeit fehlen auch eine international verbindliche Regulierungsarchitektur, auf der die weltweite Nutzung von unbemannten Flugsystemen im allgemeinen Luftraum basieren könnte, sowie ausreichende und sichere Radiofrequenzen mit der erforderlichen Bandbreite. Es sind aber national wie international zahlreiche Aktivitäten im Gange, durch die behördliche und privatwirtschaftliche Akteure die genannten Defizite beheben wollen. Eine Integration von großen unbemannten Systemen in den zivilen Luftraum unter Gewährleistung eines gleichen Sicherheitsniveaus wie in der bemannten Luftfahrt ist aber noch in weiter Ferne.

Das Sicherheitsproblem hat auch für *bodengestützte* unbemannte Systeme große Bedeutung, selbst wenn sich die Frage nach einer Integration in den zivilen Ver-

kehr noch nicht in der Dringlichkeit wie bei unbemannten Luftsystemen stellt. Zivile Technologien und Anwendungen (z. B. Serviceroboter und Fahrzeugkontrollsysteme) schreiten aber rasch voran (wovon auch die militärische Nutzung profitieren wird). Das Leistungsprofil ferngesteuerter, aber zunehmend auch autonomer seegestützter Systeme scheint sich für die Zukunftsmärkte Sicherheit (Schutz von Hafenanlagen) und Meerestechnik (Suche nach und Abbau von Rohstoffen) bestens zu eignen.

Für alle Typen unbemannter Systeme ist eine Vielzahl von erforderlichen Rahmenbedingungen noch anzupassen oder neu zu gestalten. Dazu gehören eine möglichst international harmonisierte Rechtsetzung, international gültige technische Standards, Versicherungsmodelle oder ausreichendes Wagniskapital.

VERKEHRSRECHTLICHE ASPEKTE

Ein zukünftig verstärkter Einsatz unbemannter Systeme in zivilen Anwendungsfeldern wirft die Frage nach ihrer nationalen wie internationalen verkehrsrechtlichen Einordnung auf. Die auf bemannte Systeme ausgerichteten Rechtsmaterien sind aber als Grundlage für ein gleichberechtigtes Miteinander wenig geeignet.

Bei einer ersten Problemanalyse zeigt sich, dass die Rechtslage im Bereich der *Luftfahrt* im Blick auf eine Regulierung unbemannter Systeme insgesamt zersplittert und unübersichtlich, vor allem aber nicht systemadäquat ist. Sowohl bei der Begriffsbestimmung unbemannter Flugsysteme und der Präzisierung der damit verbundenen Rechtsfolgen als auch der Definition der Pflichten und Kompetenzen des Bedienpersonals besteht (Neu-)Regelungsbedarf auf nationaler und europäischer Ebene. Erforderlich wären systemspezifische Verkehrs- und Kollisionsregeln sowie eine normenklare Regelung der Zulassung von Flugsystemen und der Lizenzierung des Bedienungspersonals. Hieran könnten sich auch die Regeln für die hoheitliche Nutzung orientieren.

Im Bereich unbemannter *Bodenfahrzeuge* ist die rechtliche Diskussion kaum entwickelt. Schon eine erste Sichtung der Rechtsmaterien zeigt aber die Erforderlichkeit einer Anpassung. Regelungsbedarf besteht beispielsweise hinsichtlich der Zulassung. So sind nach geltendem deutschem und europäischem Recht Vollautomaten und nichtübersteuerbare Fahrerassistenzsysteme für die zivile Nutzung unzulässig. Sorgfältig zu prüfen wäre, ob die Qualifikation des Steuerers ggf. gesondert geregelt werden müsste. Abweichmöglichkeiten vom Recht ziviler Systeme für eine hoheitliche Nutzung sind bereits gegeben. Insgesamt ist ein erheblicher Bedarf an rechtswissenschaftlicher Analyse erkennbar, um zu einem angemessenen Regelungskonzept zu gelangen. Eine Integration unbemannter Bodenfahrzeugsysteme in das schon jetzt ausgesprochen komplexe Regelwerk des Straßenverkehrsrechts sollte in jedem Fall behutsam vorgenommen werden.

Die nationalen und europäischen Rechtsmaterien zum *Schifffahrtsrecht* sowie die einschlägigen völkerrechtlichen Verträge scheinen auf den ersten Blick relativ offen für eine Integration spezifischer Vorschriften zu unbemannten Wasserfahrzeugen zu sein. Dabei dürften weniger die fahrzeugtechnischen Zulassungsfragen im Vordergrund stehen. Für die Schifffahrt müssten vor allem die geltenden Kollisionsregeln einer genauen Analyse unterzogen werden, um Regelungsbedarf zu identifizieren und systemadäquate und anschlussfähige Regelungskonzepte zu entwickeln. Gewichtiger Regelungsbedarf ergibt sich im Bereich des See- und des Seeschifffahrtsrechts. Dort gibt es keine spezifischen Regelungen für unbemannte Systeme, ferner sind zahlreiche technische Einzelheiten anzupassen. Soweit ersichtlich fehlt es auch in Bezug auf unbemannte Wasserfahrzeugsysteme noch an einer Grundsatzdebatte sowohl zu Regelungszielen als auch zu Regelungsinstrumenten. Hierzu besteht ein substanzieller Forschungs- und Diskussionsbedarf.

Der Gesetzgeber hat aus guten Gründen primär die private Nutzung von Fahrzeugen geregelt – die hoheitliche Nutzung ist eigenständigen Regelungen unterworfen. Da es aber zukünftig zu einer verstärkten Nutzung des öffentlichen Raumes kommen dürfte, sollten in allen Regulierungsbereichen die *Zulassungs- und Überwachungsregeln* für die hoheitliche Nutzung möglichst transparent gestaltet werden. Ein hohes Maß an Abstimmung zwischen den Anforderungen an die private und denen an die hoheitliche Nutzung dürfte nicht nur Akzeptanz, sondern auch ein möglichst hohes Maß an rechtspolitischer und regelungstechnischer Kohärenz stiften.

RÜSTUNGSKONTROLLE

Unbemannte Systeme werden von zunehmend mehr Nationen in ihre Streitkräfte integriert. Die bestehenden Rüstungskontrollverträge setzen der Entwicklung und Einführung konventionell bewaffneter unbemannter Plattformen keine wirksamen Grenzen. Angesichts einer offensichtlichen Dynamik bei der Ausrüstung der Streitkräfte mit unbemannten fliegenden Systemen sowie des Trends zu immer leistungsstärkeren und bewaffneten unbemannten Systemen, von denen einige mit Massenvernichtungswaffen bestückt werden können, wäre aus Sicht der Rüstungs- und Rüstungsexportkontrolle zumindest eine Bestandsaufnahme angebracht.

Einige der bestehenden Rüstungskontrollverträge schließen unbemannte Systeme ein. Dazu zählen das Chemiewaffenabkommen und das Übereinkommen über biologische Waffen und Toxinwaffen, die Entwicklung, Herstellung und Lagerung von Trägersystemen verbieten, sofern diese für den Einsatz der betreffenden Agenzien für feindliche Zwecke oder im bewaffneten Konflikt bestimmt sind. Vergleichbares gilt für den Weltraumvertrag, der nach Auslegung der USA und europäischer Staaten nicht den Einsatz für defensive militärische Aktivitäten be-

stimmter unbemannter Systeme im Weltraum untersagt. Die Waffenkategorien des Vertrags über Konventionelle Streitkräfte in Europa (KSE-Vertrag) sind so definiert, dass sie bewaffnete unbemannte Systeme einschließen. Der Vertrag sieht zudem Mechanismen vor, mittels derer Änderungen des Vertragsgegenstandes umgesetzt werden können – beispielsweise zu kleineren boden- bzw. luftgestützten und bewaffneten Systemen.

Auch die Bestimmungen des Wiener Dokuments über vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen lassen sich auf unbemannte Systeme anwenden. Dies gilt mit gewissen Einschränkungen ebenfalls für das mit dem UN-Waffenregister installierte Berichtssystem für konventionelle Hauptwaffensysteme. Da bei der technischen Definition der Waffensysteme keine Unterscheidung zwischen bemannten und unbemannten Einheiten getroffen wird, sind auch unbemannte Systeme Gegenstand des Berichtssystems, soweit sie als Kampfflugzeug oder -hubschrauber bzw. Kampfpanzer und gepanzerte Kampffahrzeuge einzustufen sind.

Andere Rüstungskontrollverträge sehen unbemannte Systeme nicht als Regelungsgegenstand vor. So fehlen entsprechende Bestimmungen in den für Nuklearwaffen relevanten Verträgen INF (Intermediate-Range Nuclear Forces) und New START (New Strategie Arms Reduction Treaty). Während der INF-Vertrag relativ eindeutig nur auf Marschflugkörper anwendbar ist, besteht beim New-START-Vertrag zwischen den USA und Russland die Option, den Vertragstext im Fall der Entwicklung neuer Waffenplattformen anzupassen.

RÜSTUNGSEXPORTKONTROLLE

Unbemannte Systeme und ihre Subsysteme und Technologien stehen auf den globalen Märkten weitgehend unreguliert zur Verfügung. Bestehende Schwächen der Exportüberwachung bestimmter dual-use-fähiger Komponenten und die schnelle Weiterverbreitung von technologischem Wissen geben Anlass, den Einsatz unbemannter Systeme durch bestimmte staatliche oder substaatliche Akteure sowie terroristische Gruppierungen als ernsthafte Bedrohung zu bedenken. Dabei ist die Fähigkeit unbemannter Flugsysteme, Massenvernichtungswaffen zu tragen, eine besondere Herausforderung für internationale Exportkontrollen und Nichtverbreitungsbemühungen. Ferngesteuerte Flugzeuge oder konvertierte Modellflugzeuge sind leicht zu bauen, Radar- und Luftverteidigungssysteme sind von tieffliegenden Systemen geringer Größe relativ einfach zu überwinden. Das Spektrum möglicher Bedrohungen reicht von gezielten Angriffen gegen wichtige Personen mit kleineren Fluggeräten, die eine Sprengladung tragen oder direkt gegen eine Person gesteuert werden, über Systeme als Waffe bzw. Waffenträger bis hin zur Ausbringung von Massenvernichtungswaffen. Gezielte Attentate auf führende Politiker, Anschläge auf symbolträchtige öffentliche Bauten und kritische Infrastrukturen oder das Ausbringen von giftigen Ingredienzien durch

Fluggeräte würden die Verletzlichkeit der Gesellschaft demonstrieren sowie das Sicherheitsgefühl und die öffentliche Ordnung beeinträchtigen.

Mit dem »Missile Technology Control Regime« (MTCR), dem Wassenaar-Abkommen und dem Hague Code of Conduct stehen grundsätzlich geeignete Instrumente zur Kontrolle der Proliferation unbemannter Systeme zu Verfügung. Angesichts der technologischen Fortschritte und der immer weiteren Verbreitung sowie der damit verbundenen Risiken sollten die Verträge aber weiterentwickelt und insbesondere bewaffnete unbemannte Luftfahrzeuge und die entsprechenden Technologien einbezogen werden.

HUMANITÄRES VÖLKERRECHT

Dem Einsatz von insbesondere bewaffneten UMS stehen die Prinzipien des Humanitären Völkerrechts nicht per se entgegen. Angesichts des Trends zur Bewaffnung unbemannter (insbesondere fliegender) Systeme sowie angesichts zunehmender Autonomiegrade könnte aber ein nationaler Überprüfungsprozess auf der Grundlage von Artikel 36 des Zusatzprotokolls I zu den Genfer Abkommen erwogen werden.

Auf internationaler Ebene könnte als Fernziel eine ausdrückliche völkerrechtliche Regelung (möglicherweise in Gestalt eines Manuals) in Erwägung gezogen werden. In dieser Perspektive wären u.a. folgende Aspekte zu erörtern:

- Verpflichtung der potenziellen Konfliktparteien auf die Beachtung der Regeln des Humanitären Völkerrechts beim Einsatz von UMS,
- klare Trennung bzw. Distanz einer Kontrollstation von bzw. zu zivilen Objekten,
- Vorkehrungen für den Fall technischen Versagens eines UMS,
- Festlegung von Interventionspflichten und Ermöglichung von Interventionen des Steuerers sowie Einbau von Selbstzerstörungsmechanismen für den Fall des Versagens der Intervention,
- Prüfung eines Verbots vollständig autonomer bewaffneter Systeme, soweit und solange es nicht möglich ist, allen Anforderungen im Hinblick auf Zielerfassung (»targeting«) und allen erforderlichen Vorsichtsmaßnahmen zum Schutz von Zivilisten in gleicher Weise Rechnung zu tragen wie bei nichtautonomen Systemen.

Mit den Trends zur Depersonalisierung und Automatisierung des Schlachtfelds sind auch dringliche ethische Fragen bezüglich technischer Systeme als »moralisch Handelnder« aufgeworfen. Die Frage, ob und inwiefern menschliche Entscheidungsträger im Zusammenspiel mit technischen, zunehmend auch autonomen Systemen ihrer Verantwortung gerecht werden können, wird nicht auf militärische Einsätze beschränkt bleiben. Vielmehr werden auch in nichtmilitärischen Zusammenhängen die tradierten Kategorien legalen und moralischen Handelns hinterfragt und gegebenenfalls neu definiert werden müssen.

EINLEITUNG I.

Unbemannte Systeme (UMS) sind wiederverwendbare Fahrzeuge, die keinen Bediener tragen, und zu Land, zur See, in der Luft – autonom oder ferngesteuert – Missionen durchführen. Aufgrund der Trennung von Bediener/Steuerer und System bieten sie die Möglichkeit, sich bei einem Einsatz der Einwirkung feindlichen Feuers zu entziehen oder das Betreten gefährlichen Terrains zu vermeiden, zugleich aber aus der Distanz aufzuklären, den Gegner zu erkennen und ggf. zu bekämpfen. Wichtige Dimensionen des Fähigkeitsspektrums der Streitkräfte – wie Nachrichtengewinnung und Aufklärung, oder Wirksamkeit im Einsatz – können gesteigert, verbesserte oder neuartige Optionen auf dem Gefechtsfeld erschlossen werden. Im Kontext von robusten Militäreinsätzen ebenso wie bei internationalen friedenserhaltenden Missionen, gerade aber auch in asymmetrischen Bedrohungslagen, senken solche Systeme insbesondere das Risiko für die Soldaten im Einsatz. Auch erhofft man sich durch die Substituierung bemannter durch unbemannte Systeme Kostensenkungen bei Material und Personal. Es werden aber auch Bedenken vorgebracht, dass durch die Option, Einsätze ohne Risiko für die Soldaten durchzuführen, in einer Krise die Hemmschwelle bezüglich eines Einsatzes abgesenkt wird (z. B. Schörnig 2010, S. 5) oder das Risiko einer kriegerischen Auseinandersetzung – z. B. infolge eines Unfalls oder eines Versehens – steigt.

UMS sind bereits in zahlreichen Streitkräften eingeführt und kommen in wachsendem Umfang zum Einsatz. Die Streitkräfte der USA beispielsweise verfügten im Jahr 2000 über weniger als 50 unbemannte fliegende Systeme, acht Jahre später war der Bestand auf weit über 6.000 Einheiten angewachsen (GAO 2008, S. 7). Alles deutet daraufhin, dass sich diese Entwicklung weiter intensivieren wird. In den kriegerischen Auseinandersetzungen im Kosovo, im Irak und in Afghanistan wurden und werden UMS in z. T. erheblichem Umfang eingesetzt. Aus der Sicht der Streitkräfte wurde dort der Nachweis erbracht, dass sie gerade in asymmetrischen Bedrohungslagen und Auseinandersetzungen die Informationslage durch Aufklärungsmissionen verbessern, die operativen Möglichkeiten erhöhen und helfen, das eigene Personal besser zu schützen. Erst in den letzten Jahren sind fliegende UMS zunehmend auch zu Waffenträgern geworden. Aufgrund ihrer geringen Geräusch- und Radarsignatur sind sie schwer zu entdecken. Einige Typen können lange über einem potenziellen Ziel kreisen, dieses sehr präzise aufklären und selbst verzugslos bekämpfen. Diese Erfahrungen mit unbemannten Systemen als »Kampfkraftverstärker«, aber auch als eigenständiges Waffensystem haben dazu geführt, dass weltweit intensive Forschungs- und Entwicklungsanstrengungen unternommen werden, um die Eignung solcher Systeme bereits in naher Zukunft zu verbessern. Politische und militärische Konzepte und Planungen lassen erkennen, dass Zahl und Fähigkeiten von UMS signifi-

kant erweitert und gesteigert werden sollen. Damit ist zu erwarten, dass die Integration von UMS in die Streitkräfte und die Übernahme einer wachsenden Zahl kritischer Missionen im Einsatz weiter dynamisch voranschreiten.

Die technologischen Fortschritte, die Forschung, Entwicklung und Nutzung solcher Systeme ermöglicht haben sowie zukünftig in Aussicht stellen, eröffnen auch zahlreiche nichtmilitärische Anwendungsperspektiven. Neben einem militärisch geprägten Weltmarkt dürften sich deshalb weitere Märkte entwickeln: für zivile hoheitliche (z. B. polizeiliche) Anwendungen sowie für privatwirtschaftliche Nutzung. Insbesondere für zivile Sicherheitstechnologien werden interessante und lukrative Marktsegmente erwartet, bei allerdings teilweise scharfem Wettbewerb. Deren Erschließung setzt aber voraus, dass eine Reihe noch bestehender technischer und regulatorischer Hindernisse beseitigt wird.

1. BEAUFTRAGUNG

Auf Initiative des Verteidigungsausschusses hat das TAB – gemäß Beschluss des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung – im Rahmen eines TA-Projekts aus verteidigungs-, industrie-, innovations- und forschungspolitischer sowie (völker)rechtlicher Sicht eine Bestandsaufnahme und Folgenabschätzung zu aktuellen nationalen und internationalen Entwicklungen und Perspektiven bei UMS vorgenommen. Dazu wurden zu folgenden Schwerpunkten Recherchen und Analysen durchgeführt sowie Gutachten vergeben:

- aktuelle und angedachte Einsatzkonzepte und -szenarien im Kontext von Bedrohungsszenarien und Fähigkeitsanalysen;
- Entwicklungsstand und Perspektiven bei Forschung und Entwicklung (FuE) und den relevanten Schlüsseltechnologien und Systemen im Lichte der Anforderungen bzw. Fähigkeitskategorien der Streitkräfte;
- volkswirtschaftliche, rüstungswirtschaftliche und innovationspolitische Relevanz;
- sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Einordnung auch unter Berücksichtigung von Proliferationsrisiken und terroristischen Bedrohungsszenarien;
- verkehrsrechtliche sowie völkerrechtliche Aspekte;
- nationale und multinationale Handlungs- und Gestaltungsmöglichkeiten.

2. AUFBAU DES BERICHTS

Zu Beginn des vorliegenden TAB-Berichts wird ein Überblick zu den Definitionen und Kategorien sowie der Vielzahl militärischer unbemannter Systeme gegeben. Diesen soll exemplarisch das breite und ausdifferenzierte Spektrum der Systeme

und ihrer Missionen veranschaulichen. Die Darstellung konzentriert sich auf die Situation in Deutschland und den Vereinigten Staaten.

Vergleichbar vielen anderen wichtigen wehrtechnischen Trends stehen auch unbemannte Systeme im Zusammenhang mit sicherheitspolitischen und militärischen Strategien und Konzepten. Angesichts des veränderten Aufgabenspektrums der Bundeswehr, in dem der Kampf gegen den internationalen Terrorismus sowie die internationale Konfliktverhinderung und Krisenbewältigung in den Vordergrund gerückt sind, prüfen die Teilstreitkräfte und die Streitkräftebasis, welche unbemannten Systeme in welchen Einsatzkonfigurationen helfen können, das Fähigkeitsspektrum der Bundeswehr als »Armee im Einsatz« zu verbessern und zu erweitern.

In Kapitel III wird – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – dargestellt, welche konzeptionellen Vorgaben, mittel- bis langfristige Entwicklungsperspektiven und Fähigkeiten für die Nutzung von UMS durch die Bundeswehr definiert und formuliert werden. Dazu wurde neben zahlreichen Expertengesprächen eine Literatur- und Dokumentenanalyse durchgeführt. Auf dieser Grundlage wurde versucht, aus den öffentlich zugänglichen Quellen ein Bild von den konzeptionellen Überlegungen zu zeichnen, in denen die (Teil-)Streitkräfte die spezifischen Aufgaben- und Leistungsprofile von UMS reflektieren sowie entsprechende Zielvorstellungen und (Fähigkeits-)Anforderungen formulieren. Übergreifend wird erwartet, dass unter den veränderten Sicherheitsbedingungen des 21. Jahrhunderts UMS spezifische Beiträge zur Bewältigung der Herausforderungen einer modernen Friedens- und Sicherheitspolitik liefern werden.

Weltweit werden erhebliche finanzielle Mittel und planerische Anstrengungen in die gezielte Fortentwicklung der technologischen Grundlagen unbemannter Systeme investiert. Dokumente in den USA, wie das »Joint Robotics Program – Master Plan FY2005« für Landroboter, der »Navy Unmanned Undersea Vehicle Master Plan 2004« für unbemannte Unterwasserfahrzeuge oder systemübergreifend die »Unmanned Systems Integrated Roadmap 2009–2034«, lassen erkennen, dass die kritischen Technologien unbemannter Systeme vor allem Sensorik, Antrieb/Energieversorgung, Datenverarbeitung und -übertragung, Autonomie, Navigation/Kommunikation sowie Prozessoren sind. Häufig werden Querschnittsfelder, wie neue Materialien, Nano- und Biotechnologie, oder weitere Felder wie Waffentechnologien thematisiert. Fortschritte bei diesen Technologien werden insbesondere angestrebt, weil Systeme mit hoher Missionsautonomie zukünftig von besonderem Interesse sein werden. Die Steigerung von Parametern wie Schnelligkeit, Reichweite, Ausdauer oder Agilität hat ebenfalls hohe Priorität. Steigende Anforderungen an die Sensoren sowie die Bewaffnung kommen hinzu. Je nach Mission und Einsatzszenario sind deshalb deutliche Weiterentwicklungen in bestimmten Feldern erforderlich. Langfristig werden auch Entwicklungsansätze aus der theoretischen Biologie bzw. Methoden der Bio- und Nanotech-

nologie verfolgt, um insbesondere die für autonome Systeme erforderlichen »intelligenten Funktionen« (z. B. Mustererkennung, Bildfolgenanalysen) zu realisieren.

In Kapitel IV wird ein Überblick des Stands der Technik sowie der möglichen Entwicklungsperspektiven der für UMS relevanten Technologien gegeben. Die relevanten Technologiefelder werden kursorisch beschrieben und hinsichtlich ihrer Relevanz für die Missionen unbemannter Systeme eingeordnet (Kap. IV.1 u. IV.2). In Kapitel IV.3 wird ein Ausblick auf zukünftige Entwicklungen versucht. Dazu werden exemplarisch – auf der Basis einer Abschätzung der Entwicklungsperspektiven relevanter Technologien – unbemannte Systeme für spezifische Einsatzszenarien der Zukunft vorgestellt.

In einigen politischen und militärischen Dokumenten aus den USA wird das Ziel formuliert, dass bereits im nächsten Jahrzehnt unbemannte Systeme in erheblichem Umfang bemannte Flugzeuge und Landfahrzeuge ersetzen sollen. Angetrieben wird diese Entwicklung nicht nur durch die Zielsetzung eines breiteren, intensivierten und differenzierten Einsatzspektrums von UMS. Vielmehr werden auch erhebliche Einsparpotenziale – jeweils im Vergleich zu bemannten Systemen – erwartet.

Angesichts des globalen Interesses von Staaten an der intensivierten Nutzung von UMS für die Streitkräfte ist es plausibel, von einem stetig weiter wachsenden militärisch geprägten Weltmarkt auszugehen. Es ist aber auch zu erwarten, dass sich innovative zivile Anwendungen schon mittelfristig mindestens zu attraktiven Nischenmärkten entwickeln. In Kapitel V.1 werden zunächst die Märkte für unbemannte Systeme charakterisiert sowie Beispiele für Kosten- und Einsatzvergleiche von bemannten und unbemannten Systemen vorgestellt (Kap. V.2). Danach wird diskutiert,

- welche zivilen (hoheitlich, privatwirtschaftlich) Einsatzmöglichkeiten und Märkte erwartbar sein könnten (Kap. V.3);
- welche volkswirtschaftliche und innovationspolitische Bedeutung den UMS angebots- und nachfrageseitig beigemessen werden kann; und welche technischen, ökonomischen und rechtlichen Barrieren einer Integration von UMS in zivile, hoheitliche und private Anwendungsfeldern noch im Wege stehen und
- wie sich die rüstungswirtschaftliche Relevanz unbemannter Systeme in Deutschland darstellt (Kap. V.4).

Die Erfahrung zeigt, dass neue wehrtechnische Systeme, basierend auf modernsten Technologien, sicherheits- und rüstungskontrollpolitisch problematische Folgen mit sich bringen könnten. Sie können Vertrauen gefährden, (krisen)stabilitätsgefährdend wirken oder qualitatives Wettrüsten induzieren. Kritische Entwicklungen bei der Dual-Use-Problematik treten hinzu. Angesichts des jetzt schon bestehenden Umfangs der Produktion und Verbreitung von UMS sind Risiken der Proliferation und Missbrauchspotenziale offensichtlich. Am

Markt verfügbare Plattformen können relativ leicht als Waffenträger (auch und gerade für Massenvernichtungswaffen) umgerüstet werden und bieten daher auch Optionen für sogenannte »states of concern« oder terroristische Gruppen. Bereits jetzt sind einige Systeme in Reichweite und Nutzlastkapazitäten manchem Marschflugkörper überlegen.

Der Einsatz bewaffneter UMS zur Bekämpfung von Zielen am Boden wirft schließlich auch aus der Perspektive des Völkerrechts zahlreiche Fragen hinsichtlich einer völkerrechtsverträglichen Nutzung jetziger – und zukünftig zunehmend autonomer – bewaffneter Systeme auf. Bislang gibt es noch wenige Überlegungen hinsichtlich der völkerrechtlichen sowie rüstungs- und exportkontrollpolitischen Relevanz von unbemannten Systemen. Auch ist nicht klar, ob und inwiefern geltendes Vertragsrecht davon berührt ist. In Kapitel VI.1 wird deshalb in einem ersten Schritt eine Einordnung augenblicklicher und erwartbarer zukünftiger Systeme aus Sicht der Rüstungs- und Exportkontrolle vorgenommen. In Kapitel VI.1.2 werden unbemannte Systeme im Licht des Völkerrechts diskutiert. Danach wird erörtert, ob und in welcher Weise UMS in bestimmten Kontexten und Einsatzszenarien spezifische Risiken für das internationale Staatensystem mit sich bringen könnten (Kap. VI.3).

Kapitel VII beschließt den Bericht mit Anmerkungen zum Bedarf an Information und Diskussion sowie einen Ausblick auf Handlungsfelder.

ZUSAMMENARBEIT MIT GUTACHTERN 3.

Zur fachlichen Fundierung dieses Berichts wurden die folgenden Gutachten vergeben:

»Sicherheitspolitische und militärische Konzepte und ihre Relevanz für unbemannte Systeme«; Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V. (FGAN), Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie (FKIE), Wachtberg

»Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung von unbemannten Systemen«, Universität Dortmund; Experimentelle Physik III, Dortmund

»Stand und Perspektiven von Forschung und Entwicklung bei den kritischen Technologiefeldern unbemannter Systeme«; Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Rheinmetall Defence Electronics GmbH, Bremen

Zahlreiche Elemente dieser Gutachten sind in den vorliegenden Bericht eingeflossen und als Quelle nachgewiesen. Gespräche mit den Gutachtern haben geholfen, die komplexe Materie zu strukturieren und vermittelbar zu machen. Für

die Bereitschaft zur Kooperation und Kommunikation sowie die Qualität der vorgelegten Gutachten bedanken sich die Projektbearbeiter des TAB.

Dank gebührt den Kolleginnen des Sekretariats, Frau Goelsdorf und Frau Kniehase, für die sorgfältige redaktionelle und layouterische Bearbeitung des Berichts sowie Maik Poetzsch, Praktikant und freier Mitarbeiter beim TAB, für seine gründlichen Recherchen und die Unterstützung bei der Berichtserstellung. Die beiden Verfasser tragen aber die Verantwortung für alle Defizite, die dieser Bericht noch aufweist.

UNBEMANNTE SYSTEME: EIN ÜBERBLICK II.

Im Laufe ihrer Geschichte wurden unbemannte Fahrzeuge mit ganz unterschiedlichen Namen bezeichnet. Beispielsweise werden Begriffe wie »unbemanntes Fluggerät/Flugzeug«, »Drohne«, »Flugroboter«, »ferngelenktes Luftfahrzeug/Fluggerät« oder »pilotenloses Flugzeug« verwendet. Inzwischen ist eine gewisse Systematisierung erfolgt, im Englischen wird oft »Unmanned Vehicle« benutzt, wobei je nach Bewegungsmedium »Air/Aerial«, »Ground«, »Surface« oder »Undersea/Underwater« ergänzt wird, mit den jeweiligen Abkürzungen UAV, UGV, USV, UUV. Im Deutschen verwendet man entsprechend »unbemannte Luft-/Land-/(Über-/Unter-)Wasserfahrzeuge«.

Parallel dazu und als Oberbegriff hat sich »Unmanned System« etabliert – mit den jeweiligen Zusätzen für Luft, Land und Wasser. Der Begriffsbestandteil »System« trägt der Tatsache Rechnung, dass es neben dem Fahrzeug weitere notwendige Komponenten gibt, v. a. eine (bemannte) Steuerstation und eine Kommunikationsverbindung.[1] Die entsprechenden Abkürzungen sind dann UAS, UGS, USS/UUS. Der gemeinsame Oberbegriff ist »Unmanned System« (UMS). Diese Begriffe und Abkürzungen werden im vorliegenden Bericht verwendet.

DEFINITION UND ABGRENZUNG 1.

Es gibt verschiedene Definitionen für unbemannte Systeme (UMS). Eine aktuelle Definition des U.S.-Verteidigungsministeriums findet sich in der »Unmanned Systems Roadmap 2007–2032«. Danach ist ein »Unmanned Vehicle« ein »angetriebenes Fahrzeug, das keinen menschlichen Bediener trägt, das autonom oder ferngesteuert betrieben werden kann, einmal oder wiederverwendbar sein und eine tödliche oder nichttödliche Nutzlast tragen kann. Ballistische oder halbballistische Flugkörper, Marschflugkörper, Artilleriegeschosse, Torpedos, Minen, Satelliten und unbetreute Sensoren (ohne irgendeinen Antrieb) werden nicht als unbemannte Fahrzeuge angesehen. Unbemannte Fahrzeuge sind die Hauptkomponente unbemannter Systeme.« (DoD 2007, S. 1; Übersetzung durch die Verfasser)

In dieser Definition werden ausdrücklich bestimmte Systeme von der Kategorie UMS ausgegrenzt. Dies zeigt zum einen, dass hier das Neuartige und Spezifische von UMS betont werden soll. Zum anderen wird deutlich, dass eine klare Ab-

1 Die aktuelle U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010–2035 hebt in ihrer Definition von UAS ausdrücklich die menschliche Komponente des Systems (»human element«) hervor (DoD 2010, S. 8).

grenzung anhand technischer oder operativer Kriterien zwischen UMS einerseits und Systemen wie Marschflugkörpern und Torpedos andererseits konzeptionell nicht ohne Weiteres möglich ist. Bemerkenswert ist, dass das Kriterium »mehrfach verwendbar«, das in früheren Definitionen für die Abgrenzung (beispielsweise von Cruise Missiles oder Torpedos) verwendet wurde (z. B. OSD 2005, S. 1), mittlerweile nicht mehr angeführt wird.

Ein wichtiges Element der Definition ist die begriffliche Trennung zwischen dem eigentlichen Fahrzeug und dem Gesamtsystem, in das es eingeordnet ist. Was dieses System alles umfasst, wird in der obigen Definition nicht expliziert. Der Fachausschuss »Unmanned Aerial Vehicles« (UAV) der Deutschen Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt (DGLR 2008) beschreibt dies – für UAVs – so: »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
- diverse Hilfsvorrichtungen (z. B. Betankung, Stromversorgung, Hebevorrichtungen, Transportbehälter).«

Im vorliegenden Bericht wird eine Definition verwendet, die im Rahmen eines vom TAB beauftragten Gutachtens entwickelt wurde (Altmann et al. 2008, S. 29, Hervorhebungen im Original):

»*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 *Fahr-*

zeug 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* können heißt, den Bewegungszustand – die Geschwindigkeit oder Richtung – zumindest prinzipiell ändern zu können.«

Da – wie schon betont – die Grenzen zwischen bereits eingeführten Systemen (Marschflugkörper, Torpedos etc.) und »neuen« UMS fließend sind, ist diese Definition lediglich als Arbeitsdefinition zu verstehen, anhand derer in Grenzfällen jeweils geprüft werden muss, ob die Berücksichtigung eines Systems interessante und relevante Ergebnisse verspricht, ohne den Rahmen der Untersuchung zu sprengen. Diesem Sachverhalt wird im Folgenden Rechnung getragen, indem die Unterscheidung von UMS »im engeren Sinn« und »im weiten Sinn« eingeführt wird (Tab. 1).

TAB. 1 **BEISPIELE ZUR ABGRENZUNG UNBEMANNTER OBJEKTE IN BEZUG AUF DIE UMS-DEFINITION**

Objekt	entspricht der UMS-Definition		
	eng	weit	nicht
Gewehrgeschoss			+
gelenkte Bombe		+	
Lenkflugkörper		+	
Torpedo		+	
Marschflugkörper		+	
Modellflugzeug		+	
Weltraum-, ballistische Rakete		+	
trainierte Ratte			+
rechnergesteuertes Insekt	+		
Fesselballon			+
Industrieroboter, ortsfest			+
mobiler Lagerroboter		+	

Quelle: Altmann et al. 2008, S. 32

Torpedos und Marschflugkörper werden demnach als UMS im weiten Sinn verstanden, ebenso ballistisch (d. h. nur der Schwerkraft und ggf. der Luftwiderstandskraft ausgesetzt) fliegende Geschosse oder Raketen, sofern Vorrichtungen (z. B. Klappen oder Triebwerke) zur Bahnänderung vorhanden sind. Auch Satel-

liten in Erdumlaufbahnen wären dazu zu zählen, wenn sie (wie es oft der Fall ist) Triebwerke und Treibstoff zur Bahnkorrektur an Bord haben.[2]

Allerdings gibt es in der Tat neuartige UMS, die qualitativ neue militärische Optionen ermöglichen. Sie werden hier UMS im engeren Sinn genannt. Diese neueren Systeme besonders zu betrachten ist sinnvoll, auch in Bezug auf bestehende bzw. neue Ansätze zur Rüstungskontrolle. In Tabelle 1 sind einige Beispiele für die Einordnung von Systemen aufgeführt. Auch »exotische« Systeme, wie zum Beispiel manipulierte Tiere würden in Analogie zu technischen Klein-UMS dann als UMS zählen, wenn ihnen technische Komponenten implantiert/angefügt wurden.[3]

2. KATEGORIEN

Ein erstes Kriterium zur Kategorisierung von UMS ist das Medium, auf bzw. in dem sich das Fahrzeug bewegt (Kasten). Eine weitere Einteilung in Klassen erfolgt meist entlang von militärisch-operativen Kriterien, wie zum Beispiel

- Reichweite oder Einsatzradius,
- maximale Einsatzhöhe oder -tiefe,
- maximale Einsatzdauer.

Diese sind eng verknüpft vor allem mit der Größe (Länge, Breite, Höhe, Spannweite) und dem Gewicht der UMS sowie anderen Parametern, wie zum Beispiel dem Treibstoffvorrat und möglichen Nutzlasten (Sensoren, Wirkmittel). Schließlich werden UMS charakterisiert durch ihren konkreten Verwendungszweck, z. B.:

- Sprengkörper- und Minensuche,
- Transport und Logistik,
- Aufklärung,
- Kommunikation,
- Kampfeinsatz.

2 Der Weltraum stellt wegen der Umgebungsbedingungen, die sich von den anderen Medien sehr stark unterscheiden, einen Sonderfall dar und wird hier nicht näher betrachtet. Zum Thema militärische Nutzung des Weltraums hat das TAB 2003 einen Bericht vorgelegt (Petermann et al. 2003 u. TAB 2003).

3 Insekten und Ratten wurden schon durch implantierte Elektroden ferngesteuert, verschiedene militärische Nutzungen wurden diskutiert (z. B. in Altmann 2006, S. 95 f.). Nichttechnisch manipulierte Tiere werden nicht als UMS gezählt.

DIE MEDIEN LAND/WASSER/LUFT: EIGENSCHAFTEN UND BEDINGUNGEN FÜR UMS

Die Bewegungsmedien Land, Wasser, Luft unterscheiden sich stark in ihren physikalischen Eigenschaften und damit in entscheidenden Randbedingungen, die sie vor allem für die Fortbewegung und die Kommunikation von UMS setzen.

LAND

Fortbewegung

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. Im Idealfall sollte der Boden hierfür hart und rutschfest sein. Die Fortbewegung kann schwierig bis unmöglich werden, u. a. wenn der Boden so weich ist, dass das Fahrzeug einsinkt (z. B. Sumpf, Sandwüste, Schneefeld), wenn der Weg uneben bzw. unbefestigt ist (z. B. Geröll, Schotter) oder wenn Steigung oder Gefälle zu groß sind. Der für einen Verbrennungsantrieb (Kolbenmotor, Turbine) benötigte Sauerstoff kann aus der Umgebungsluft entnommen werden. Mögliche Hindernisse wie Bäume, Felsen, Gräben, Gebäude sowie andere Fahrzeuge erschweren die Fortbewegung. Das automatische Erkennen einer Fahrbahn bzw. einer tragfähigen und genügend hindernisfreien Fahrstrecke im Gelände stellt erhebliche Anforderungen an Sensorik und Signalverarbeitung.

Kommunikation

Als Standard für die Kommunikation hat sich Funk etabliert, der durch die Luft übertragen wird – auf kurze Entfernungen direkt, ansonsten mit Relaisstationen am Boden oder in der Luft; Kommunikationssatelliten erlauben weltweite Verbindungen. Auch andere Kommunikationswege sind möglich, z. B. optisch (frei übertragen oder in Glasfasern), akustisch (Steuern durch Zuruf).

WASSER

Fortbewegung

Für den Antrieb im Wasser wird Wasser nach hinten bewegt, meist durch Propeller, die Gegenkraft drückt das Fahrzeug nach vorn. Auftrieb kann entweder statisch (d. h. durch das Gewicht des verdrängten Wassers) oder dynamisch (d. h. durch Anströmung besonders geformter Körper) erzeugt werden. Dynamischer Auftrieb wird über Wasser bei Gleit- und Tragflächenschiffen ausgenutzt, unter Wasser bei U-Booten vor allem beim Ab- und Auftauchen (daneben spielt hier die Steuerung des statischen Auftriebs durch veränderli-

chen Wasserballast eine wichtige Rolle). Der für einen Verbrennungsmotor benötigte Sauerstoff kann über Wasser aus der Umgebungsluft entnommen werden. Unter Wasser wird meist ein Elektroantrieb verwendet, gespeist z. B. aus Batterien oder Brennstoffzellen, in großen strategischen U-Booten aus Kernreaktoren. Mögliche Hindernisse sind vor allem der Meeresgrund (bei Überwasserfahrzeugen Untiefen) sowie Küsten, dazu andere Wasserfahrzeuge. Da die Wasseroberfläche bzw. das Wasservolumen meist leer sind, kann die Route weitgehend frei gewählt werden. Mögliche Hindernisse können über Wasser auf Sicht (nicht bei Nebel, schwierig bei Dunkelheit) und mittels Radar und unter Wasser mittels Sonar leicht erkannt werden.

Kommunikation

Über Wasser (bei U-Booten ist ggf. nur die Antenne über der Wasseroberfläche, auch Bojen sind einsetzbar) ist Funkkommunikation durch die Luft möglich. Unter Wasser können (wegen der hohen Leitfähigkeit des [Meer-]Wassers) Funkverbindungen praktisch nicht genutzt werden. Nur extrem niedrige Frequenzen oder blau-grüne Laserstrahlung können bis in geringe Tauchtiefe eindringen. Über kürzere Entfernungen kann akustisch kommuniziert werden.

LUFT

Fortbewegung

Die Luft hat nur eine geringe Dichte, daher müssen Luftfahrzeuge, die die statische Auftriebskraft ausnutzen (Ballons und Luftschiffe), sehr leicht sein und ein Gas noch geringerer Dichte enthalten (z. B. Helium). Die meisten Luftfahrzeuge fliegen jedoch unter Ausnutzung des dynamischen Auftriebs, bei Starrflüglern durch Tragflächen, bei Hubschraubern durch Drehflügel, bei schlagenden Flügeln (wie bei Vögeln) durch die Kombination aus Tragflächen- und Schlagwirkung. Für den Antrieb wird Umgebungsluft nach hinten bewegt (durch Propeller oder Flügelschlag), oder ein Verbrennungsgas wird nach hinten ausgestoßen (Turbine, Raketentriebwerk), die Gegenkraft drückt das Fahrzeug nach vorn. Für einen Verbrennungsmotor kann der Sauerstoff aus der Umgebungsluft verwendet werden. Allerdings ist mit steigender Höhe immer weniger Sauerstoff verfügbar, sodass die Antriebe darauf eingestellt werden müssen. Die maximale Höhe mit luftansaugenden Triebwerken ist 25 bis 30 km. Mögliche Hindernisse sind vor allem der Boden, insbesondere Bodenerhebungen (Hügel, Berge) sowie bei niedriger Flughöhe Bäume und Gebäude, dazu andere Luftfahrzeuge. Da der Luftraum im Wesentlichen leer ist, kann die Flugroute weitgehend frei gewählt werden. Hindernisse sind bei hoher Fluggeschwindigkeit auf Sicht nur mit kurzer Vorwarnzeit zu erkennen, bei ungünstigen Umweltbedingungen (Nebel, in Wolken) evtl. gar nicht. Mittels Radar können sowohl ortsfeste als auch bewegliche Hindernisse im Allgemeinen gut detektiert werden.

Kommunikation

Funkkommunikation ist durch die Luft möglich – auf kurze Entfernungen direkt, für längere Reichweiten nutzt man Relaisstationen auf Land, anderen Luftfahrzeugen und Kommunikationssatelliten.

Quelle: nach Altmann et al. 2008, S. 34 ff.

Eine grobe Einteilung in Klassen wird in der »Unmanned Systems Roadmap« des U.S.-Verteidigungsministeriums entwickelt und für die Diskussion der verschiedenen Fähigkeitsforderungen verwendet (Tab. 2).

TAB. 2 KLASSIFIZIERUNG VON UMS FÜR LUFT, LAND UND WASSER

Medium	Klasse	Eigenschaften (Größe, Gewicht, Funktion)
Luft (UAV)		
	klein	unter 25 kg MTOW
	taktisch	25 bis 600 kg MTOW
	Gefechtsfeld	über 600 kg MTOW
	Kampf	über 600 kg MTOW, als Angriffsplattform konstruiert, mit internen Bombenschächten oder externen Waffenaufhängungen
Land (UGV)		
	für Kompanie	
	für Brigadekampfteams	(nicht weiter differenziert)
	für Division	
Wasser (UUV, USV)		
	personentragbar	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 t, kompatibel sowohl mit Überwasserschiffen als auch mit U-Booten

MTOW: »Maximum Take-off Weight«

Quelle: DoD 2007, S. 20 ff.

UNBEMANNTE FLIEGENDE SYSTEME 3.

Unbemannte Flugsysteme sind seit dem Zweiten Weltkrieg im militärischen Einsatz. Technische Fortschritte, insbesondere in den Bereichen Automatisierung, Sensoren und Kommunikation, haben dazu geführt, dass die Entwicklung und der Einsatz von UAVs stetig zugenommen haben. Seit ihrem massiven Einsatz im Golfkrieg Desert Shield/Desert Storm (1990–1991) werden UAVs in steigendem Maße von den Streitkräften, wie auch die Konflikte im Kosovo und in Afghanistan gezeigt haben bzw. zeigen, eingesetzt. Mit Stand von Oktober 2008 beliefen sich die Einsätze (ohne Kleinsysteme) im Rahmen der Operationen »Enduring Freedom« und »Iraqi Freedom« auf etwa 500.000 Flugstunden (DoD 2009, S. XIII).

Inzwischen reicht das Größenspektrum bei UAVs von sogenannte »Nano Aerial Vehicles«, die etwa so groß sind wie eine Libelle, bis zu unbemannten strategischen Aufklärungsflugsystemen in der Größe von Verkehrsflugzeugen (Abb. 1).

ABB. 1 DAS GRÖSSENSPEKTRUM UNBEMANNTER FLUGSYSTEME

oben: Global Hawk, Northrop Grumman, Spannweite 39,90 m (NOC)
unten: PD-100 Black, Rotordurchmesser 100 mm, der Firma Prox Dynamics AS (Norwegen)

Quelle: nach van Blyenburg 2009, S. 75

Auch an hochfliegenden unbemannten Stratosphärenluftschiffen mit einer Länge von ca. 250 m, die als geostationäre Aufklärungsplattformen und Kommunikationsrelais eingesetzt werden sollen, wird weltweit gearbeitet.[4] Zahlreiche Demonstrationsmodelle sind gebaut, Testflüge von Technologiedemonstratoren haben bereits stattgefunden.

Tabelle 3 zeigt eine Einteilung in Kategorien nach den Kriterien Gewicht, Reichweite, Flughöhe und Ausdauer (maximale Flugdauer). In der vorletzten Spalte der Tabelle ist ersichtlich, dass in den verschiedenen Kategorien bereits eine beträchtliche Anzahl von Typen entwickelt bzw. hergestellt wird.

TAB. 3 KATEGORIEN VON UAV-SYSTEMEN (UNBEWAFFNET)

UAV-Kategorie	Reich-weite max. (km)	Flug-höhe max.(m)	Flug-dauer max. (h)	Start-masse max. (kg)	Anzahl	System-beispiel
Nano	< 1	100	< 1	< 0,025	11	Hornet 3a
Micro	< 10	250	1	< 5	143	T-Hawk
Mini	< 10	300	< 2	< 30	404	ALADIN
Close Range	10–30	3.000	2–4	150	188	Cobra
Short Range	30–70	3.000	3–6	200	144	LUNA
Medium Range	70–200	5.000	6–10	1.250	192	KZO
Medium Range Endurance	> 500	8.000	10–18	1.250	28	Shadow 600
Low Altitude Deep Penetration	> 250	50–9.000	0.5–1	350	10	Hornet
Low Altitude Long Endurance	> 500	3.000	> 24	< 30	20	Lears IV
Medium Altitude Long Endurance	> 500	14.000	24–48	1.500	25	Heron TP Predator
High Altitude Long Endurance	> 2.000	20.000	24–48	(4.500*) 12.000	43	Global Hawk

* Predator B

Quelle: nach van Blyenburgh 2009, S. 164 u. 168 u. van Blyenburgh 2010

4 Für Deutschland sind das solarbetriebene UAV SOLITAIR (entwickelt von der DLR) und die Konzeptstudie Stratosphärische Sensor- und Relaisplattform (SSRP) zu erwähnen.

Die verschiedenen Größenklassen decken ein weites Einsatzspektrum ab: Micro-UAVs (MAVs) (Masse bis ca. 5 kg) werden als personentragbare Systeme für die Nah- und Nächstfeldaufklärung der Bodentruppen insbesondere im urbanen Umfeld eingesetzt. Mini-UAVs (bis zu 30 kg) starten von Fahrzeugen und erweitern deren Aufklärungsreichweite. Taktische UAVs (kurze bis mittlere Reichweite) werden von leicht verlegbaren, mobilen Basen zur Überwachung der taktischen Einsatzräume eingesetzt. MALE-UAVs (»Medium Altitude Long Endurance«) (bis zu 1.500 kg) finden Verwendung in der weiträumigen Aufklärung. Strategische HALE-UAVs (»High Altitude Long Endurance«) (ab ca. 4.500 kg) fliegen von ihrer Heimatbasis Einsatzgebiete weltweit direkt an und kehren nach einer Einsatzzeit von typischerweise 24 bis 48 Stunden wieder zu ihrer Heimatbasis zurück. Unbemannte Stratosphärenluftschiffe (zurzeit noch in der Entwicklung) werden in der Gewichtsklasse von 20.000 bis 40.000 kg liegen und könnten Standzeiten von Monaten bis Jahren realisieren.

Um den Einsatzbereich von UAVs über die reine Aufklärung hinaus zu erweitern, wird in einigen Ländern zurzeit intensiv an deren Bewaffnung gearbeitet. Gegenwärtig verfügen vor allem die USA und Israel über bewaffnete UAVs.[5] Der Trend zur Bewaffnung befindet sich zwar noch in den Anfängen[6], ist aber bereits heute unübersehbar.

UAVs IN DEUTSCHLAND 3.1

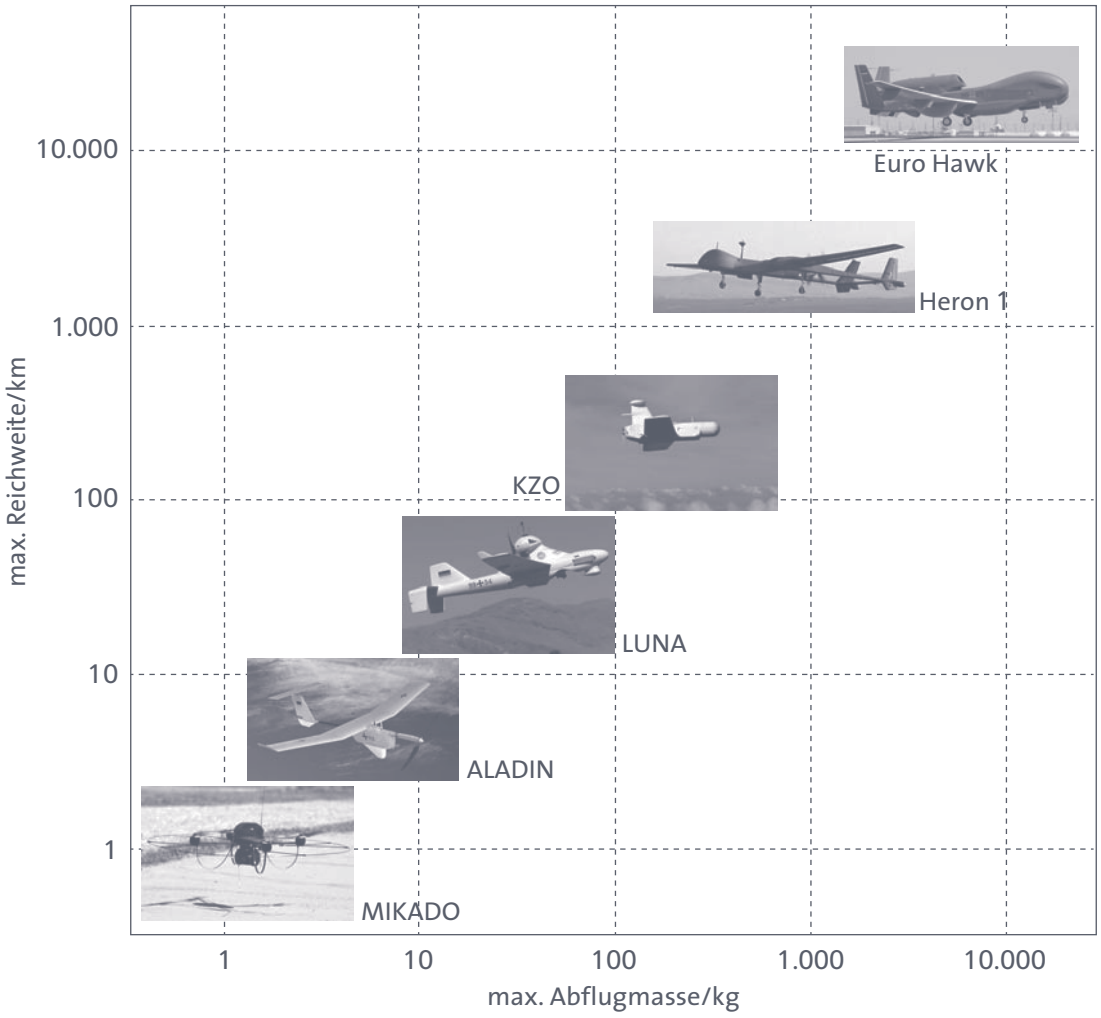
UAVs ZUR AUFKLÄRUNG 3.1.1

Die deutschen Streitkräfte sind bereits mit einer Reihe von Kleinst- und taktischen UAV-Systemen ausgerüstet. Mit der Einführung von MALE- und HALE-Systemen für weiträumige Überwachung und Aufklärung kann dann ein breites Einsatzspektrum mit nur geringen Überlappungen weitgehend abgedeckt werden. Die aktuell von der Bundeswehr eingesetzten bzw. in Beschaffung befindlichen UAV-Systeme dienen im Wesentlichen der bild- und signalerfassenden Aufklärung (DFKI/RDE 2008, S. 16 ff.). In Abbildung 2 sind die Systeme nach der maximalen Abflugmasse (»Maximum Take-off Weight«, MTOW) und der maximalen Reichweite geordnet dargestellt. Auch andere typische Systemeigenschaften wie Nutzlastkapazität, Einsatzdauer, Flughöhe oder Systemkosten sind in gewissen Grenzen in etwa proportional zum MTOW.

5 Beispielsweise kann der »MQ-1 Predator« mit zwei AGM-114 Hellfire-Luft-Boden-Lenkflugkörpern bestückt werden. Eine typische Bewaffnung für den »MQ-9 Reaper« sind zwei präzisionsgelenkte 500-Pfund-Bomben (GBU-38) sowie vier Hellfire-Raketen.

6 Die aktuellen Zahlen des UAS Yearbook weisen für 2009 26 sowie für 2010 23 produzierte bewaffnete UAVs aus. Das sind etwa 2 % aller Systeme (van Blyenburgh 2009 u. 2010).

ABB. 2 ÜBERSICHT DER DEUTSCHEN UAV-SYSTEME



Quelle: nach DFKI/RDE 2008, S. 21

MICRO-UAV: MIKADO

Das MIKADO-System (Mikroaufklärungsdrohne für den Ortsbereich) als gegenwärtig kleinstes UAV-System der deutschen Streitkräfte soll zur Unterstützung der Infanterietruppen insbesondere im urbanen Bereich eingesetzt werden (Abb. 3). Für dieses System hatten sich die Firmen AirRobot GmbH & Co. KG und EMT beworben. Das zuerst ausgewählte System der Firma AirRobot ist als elektrisch angetriebener Quadrocopter ausgelegt. Dieser besitzt ein Gesamtgewicht von ca. 1 kg, eine maximale Flughöhe bis etwa 100 m und eine Flugdauer von ca. 20 Minuten. Er wird über eine kleine Kontrollstation ferngesteuert und weist je nach Zuladung einen Einsatzradius zwischen 500 und 1.000 m auf. Als Sensorik sind sowohl Farbkameras, als auch hochempfindliche Schwarz-Weiß-Kameras verfügbar. Die Datenübertragung erfolgt in Echtzeit.

ABB. 3 MIKADO (AIRROBOT): MICRO-UAV FÜR DIE URBANE NÄCHSTFELDAUFKLÄRUNG

Quelle: Heer/Sebastian Pietruszewsk, www.deutschesheer.de

Bis 2009 wurden 20 Systeme von AirRobot beschafft und im Einsatz getestet. Zudem wurden 21 Fancopter-Drohnen der Firma EMT erworben, weitere Systeme sollten beschafft werden (Klos 2009, S. 72). Das Heer hat im Rahmen der Struktur »Neues Heer« einen Gesamtbedarf (bis 2010) von 290 MIKADOs ausgemacht (Klos 2007). Nach Pöppelmann (2010, S. 108) soll bis 2012 eine Anfangsausstattung erreicht werden. Nach Angaben der Bundesregierung sind in Afghanistan sieben MIKADO-Fluggeräte im Einsatz (Bundesregierung 2010b, S. 12).

MINI-UAV FÜR DEN NÄCHSTBEREICH: ALADIN

Das ALADIN-System (Abbildende Luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächstbereich) der Firma EMT wird zur Ziel-, Wirkungs- und Lageaufklärung im Nächstbereich eingesetzt (Abb. 4). Als Elektrosegler mit Klappropeller konzipiert, wird das System per Handwurf gestartet. Mit einem Startgewicht von weniger als 4 kg kann ALADIN je nach verwendeter Nutzlast 30 bis 60 Minuten lang in einer typischen Einsatzhöhe von 50 bis 150 m operieren. Der Missionsradius beträgt nach Herstellerangaben über 15 km (EMT 2009a). Das Heer spricht dagegen von ca. 5 km Reichweite (Deutsches Heer 2009a). ALADIN fliegt programmgesteuert, allerdings kann der Kurs bei Bedarf jederzeit abgeändert werden. Bei Tageslicht können verschiedene Kameras für Fotos und Videos eingesetzt werden. Zur Nachtaufklärung dienen Infrarot(-Wärmebild)kameras. Die Datenübertragung erfolgt in Echtzeit. ALADIN gehört als Subsystem zum Spähwagen Fennek als Aufklärungsfahrzeug für die Eingreifkräfte (BMVg 2008, S. 64). Bis Anfang 2009 wurden 115 ALADIN-Drohnensysteme durch die Deutsche Bundeswehr beschafft. Weitere 109 sollten 2010/2011 folgen (Klos 2009, S. 72). In Afghanistan sind 31 Systeme im Einsatz (Bundesregierung 2010b, S. 12).

ABB. 4 ALADIN: MINI-UAV ZUR NÄCHSTBEREICHSAUFKLÄRUNG

Quelle: www.emt-penzberg.de/fileadmin/images/gallerie/07.jpg

SHORT RANGE UAV: LUNA ZUR NAHAUFKLÄRUNG

Das LUNA-System (Luftgestützte Unbemannte Nahaufklärungs-Ausstattung) der Firma EMT wird zur Nahaufklärung im Bereich bis zu 40 km eingesetzt. Als Motorsegler mit Verbrennungsmotor konzipiert, kann LUNA auch bei schlechten Wetterbedingungen bei nicht zu starkem Wind eingesetzt werden. Über ein Netzlandesystem (Abb. 5) ist eine punktgenaue Landung ohne ortsgebundene Infrastruktur möglich.

ABB. 5 LUNA: SHORT RANGE UAV ZUR NAHFELDAUFKLÄRUNG

links: vor dem Start; rechts: bei der Netzlandung

Quelle: links: PIZ Heer/Volker Jung; rechts: www.emt-penzberg.de/fileadmin/download/LUNA_de.pdf

Mit einem Gesamtgewicht von ca. 32 kg (Deutsches Heer 2009c) kann das LUNA-System aus bis zu 40 km Entfernung (laut Hersteller: 65 km [EMT 2009b]) über ungekühlte IR-Sensorik, eine Farbbildkamera oder ein Radar mit synthetischer Appertur Aufklärungsdaten in Echtzeit zur Bodenkontrollstation senden. Die Flugdauer beträgt, je nach Startgewicht, ca. 3 bis 5 Stunden. Die Missions-

führung erfolgt vollautomatisch auf programmierten Wegstrecken oder ferngesteuert. Flugprogramme können während des Flugs geändert werden.

Das LUNA-System wurde seit 2000 im Kosovo und in Mazedonien eingesetzt. In Afghanistan kommen 27 Systeme zum Einsatz (Bundesregierung 2010b, S. 12). Mit über 5.000 Ausbildungs- und Einsatzflügen ist LUNA ein wesentlicher Träger der luftgestützten Aufklärung der Bundeswehr (Deutsches Heer 2009c). Zu den bereits für das Heer beschafften fünf Systemen sollen bis 2012 vier weitere (mit je zehn Fluggeräten) kommen (s. a. BMVG 2008, Anlage 4; Bundesregierung 2009c; Klos 2009, S. 73).

MEDIUM RANGE UAV: KZO ZUR AUFKLÄRUNG IM MITTELBEREICH

Das KZO-System (Kleinfluggerät zur Zielortung) der Firma Rheinmetall Defence unterstützt die Artillerie des Deutschen Heeres bei der zeitnahen Zielortung und -verfolgung. Mithilfe des KZO lassen sich in Echtzeit georeferenzierte Aufklärungsdaten auf Basis einer hochauflösenden Infrarotkamera übertragen; die Bundeswehr gibt 65 km Aufklärungsreichweite an (Deutsches Heer 2009b) (Abb. 6).

ABB. 6 KZO: MEDIUM RANGE UAV ZUR ZIELERFASSUNG UND TAKTISCHEN AUFKLÄRUNG

Quelle: Luftwaffe/20.Ktgt ISAF

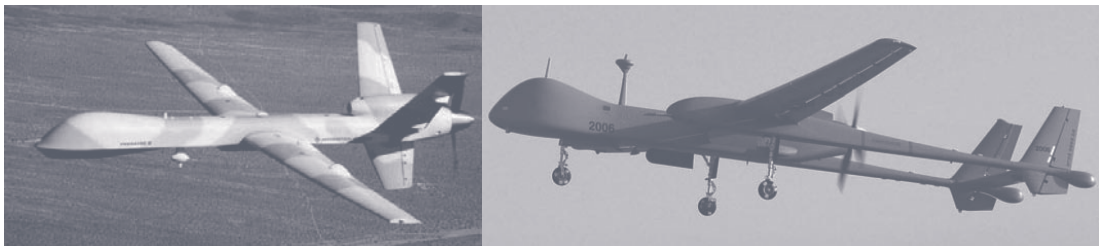
Das Fluggerät mit einer Startmasse von 160 kg trägt ein 35 kg schweres IR-Nutzlastmodul bei einer Flugdauer von 3 bis 5 Stunden, je nach Flugprofil, sowie einer Flughöhe von bis zu 4.000 m. Durch ein Raketenstartsystem kann das KZO auch bei ungünstigen Witterungsbedingungen gestartet werden. Es fliegt programmgesteuert, der Operateur kann aber während des Fluges eingreifen. Seit Mitte 2009 hat das KZO etwa 500 Einsätze in Afghanistan absolviert (Deutsches Heer 2009d). Insgesamt wurden sechs KZO-Systeme durch die Bundeswehr beschafft, die jeweils aus zehn Fluggeräten, je zwei Bodenkontrollstationen, Start-, Werkstatt-, Antennen- und Bergefahrzeugen bestehen (BMVg 2008, S. 43; Bundesregierung 2009c). Elf Fluggeräte sind in Afghanistan im Einsatz (Bundesregierung 2010b, S. 12).

MALE-UAV: SAATEG

Mit einem »System für die abbildende Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebiets« (SAATEG) soll bis 2011 die in diesem Bereich diagnostizierte Fähigkeitslücke geschlossen werden. Als Anfangsausstattung SAATEG sollte ein System mit zwei Bodenkontrollstationen und fünf Fluggeräten beschafft werden und 2011 zum Einsatz kommen.

Hierfür konkurrierten zwei Systeme: zum einen Heron TP (Kooperation von Rheinmetall Defence mit Israel Aerospace Industries LTD) sowie zum anderen Predator B (Kooperation von Diehl BGT Defence mit General Atomics). Das Bundesverteidigungsministerium gab im Juni 2009 seine Entscheidung für das System Heron 1 (das Vorgängermodell des Heron TP) als »Zwischenlösung«. Mittlerweile wurden fünf Heron-1-Systeme von RDE geleast, drei sind in Afghanistan im Einsatz. Dabei trägt die Industrie die Verantwortung für die logistische Versorgung, die Luftwaffe die operationelle Verantwortung für die Einsätze (Luftwaffe 2010, S. 14).

ABB. 7 **EHEMALIGE KONKURRENTEN BEI SAATEG**



links: Predator B; rechts: Heron TP

Quelle: nach DFKI/RDE 2008, S. 20

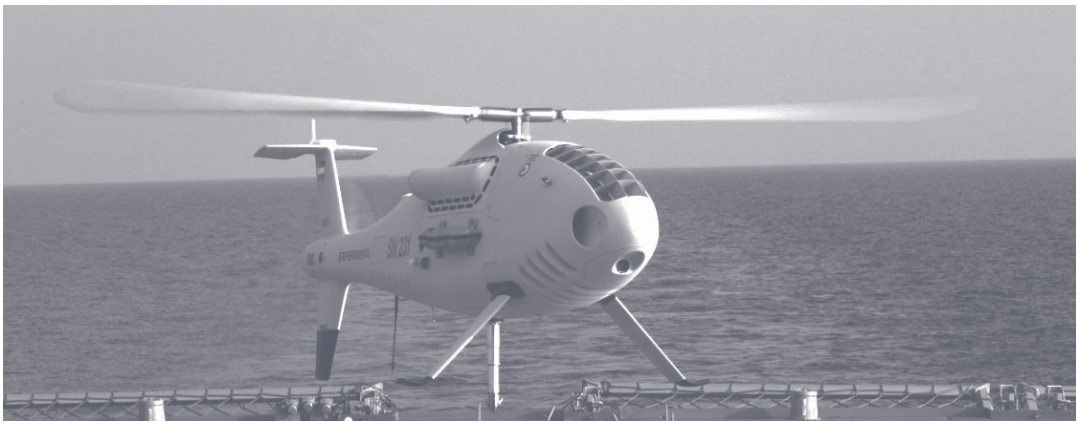
Heron 1 kann etwa 24 Stunden in der Luft bleiben, hat eine Einsatzreichweite von etwa 400 km und ein typische Einsatzhöhe von etwa 6.400 m. Die volle Sensorausstattung besteht aus EO/IR-Sensoren, einem Laserzielmarkierer sowie SAR mit GMTI (»Ground Moving Target Indicator«). Daten werden von der Plattform an die Bodenstation übermittelt oder können auch als Videobilder an Einheiten am Boden gesendet werden. Bilddaten können schließlich auch für den Geoinformationsdienst der Bundeswehr geliefert werden.

VTOL-UAV

Komplementär zur UAV-MALE-Komponente soll, vor allem für Marine und Heer, ein System zur Ziel- und Wirkungsaufklärung beschafft werden, das die Fähigkeit zum Senkrechtstart hat (sogenannte »Vertical Takeoff and Landing«, VTOL). Mit dem Camcopter-S100 der österreichischen Firma Schiebel (in Ko-

operation mit Diehl BGT Defence) wurden Eignungsstudien durchgeführt. Es sollen bis 2013 drei Bodensegmente mit sechs fliegenden Plattformen beschafft werden (Pitsch 2009). Die ersten Systeme sind zum Einsatz auf drei Korvetten der Klasse K130 vorgesehen.

ABB. 8 CAMCOPTER S-100



Quelle: http://81.223.14.230/images_download/camco/CAMCOPTER%20S-100_61.jpg

HALE-UAV: EURO HAWK

Der Euro Hawk basiert technisch weitgehend auf dem Global Hawk von Northrop Grumman, wird aber mit spezieller Sensorik und Kommunikationsanbindung ausgerüstet (Nationales Missionssystem), u. a. um Zugang zu den Rohdaten zu haben (Abb. 9).

ABB. 9 EURO HAWK: HALE-UAV ZUR STRATEGISCHEN AUFKLÄRUNG

Quelle: © EADS

Der Euro Hawk wird die veralteten Maschinen vom Typ Breguet Atlantik ersetzen und ist für die weiträumige, signalerfassende und nichtpenetrierende Aufklärung bei der Luftwaffe vorgesehen. Er soll eine von den Verbündeten unabhängige 24h/365 Tage strategische Aufklärungskapazität bereitstellen. Dabei wird der Euro Hawk mit einer Flughöhe oberhalb 18 km und einer Flugdauer von bis zu 30 Stunden bevorzugt Radaranlagen und Funkverkehr überwachen (»Signal Intelligence«, SIGINT). Ende 2009 wurde die erste Euro-Hawk-Plattform vorgestellt (Europäische Sicherheit 2009). 2010 wurde das erste System als »Full Scale Demonstrator« (FSD) übergeben.[7] Ab 2012 sollten vier Systeme beschafft werden.

Abschließend werden die Systeme zur Nachrichtengewinnung und Aufklärung in Tabelle 4 zusammengefasst.

TAB. 4 ÜBERSICHT ZUR AUFKLÄRUNG EINGESETZTER UAVs IN DER BUNDESWEHR

System	Einsatzbereich	Leistungsparameter
MIKADO	Orts- und Nächstbereich	20 Minuten Flugdauer 100 m Flughöhe 500 bis 1.000 m Einsatzradius
ALADIN	Orts- und Nächstbereich	30 bis 60 Minuten Flugdauer 50 bis 150 m Flughöhe 15+ km Einsatzradius
LUNA	Nahbereich	3 bis 5 Stunden Flugdauer 150 bis 800 m Flughöhe über Grund 40 km Einsatzradius
KZO	Mittelbereich	3 bis 5 Stunden Flugdauer ca. 3.500 m Flughöhe 100 km Einsatzradius
Heron 1	Mittelbereich/taktische Aufklärung (SAATEG)	24 Stunden Flugdauer 6.400 bis 8.430 m Flughöhe 200 km Einsatzradius
Euro Hawk	Fernbereich/strategische Aufklärung	20.000 m Flughöhe 28 Stunden Flugdauer 7.500 km Einsatzradius

Quelle: eigene Darstellung

7 Zudem soll die Bundeswehr zur NATO Alliance Ground Surveillance in Form einer nationalen Beistellung von HALE IMINT beitragen (Klos 2009, S. 75; s. a. BMVg 2008, S. 43). Es sind dabei Radarsensoren geplant, die sowohl Abbildungen (»Synthetic Aperture Radar«, SAR) erzeugen als auch Bewegtziele am Boden (»Ground Moving Target Indicator«, GMTI) erkennen und verfolgen.

BEWAFFNETE UAVs 3.1.2

WABEP

Mit dem »Wirkmittel zur abstandsfähigen Bekämpfung von Einzel- und Punktzielen«, Wabep, soll das Einsatzspektrum von UAVs dahingehend erweitert werden, dass Ziele in der Tiefe des Einsatzgebiets nicht nur aufgeklärt, sondern auch bekämpft werden können. Die bestehende Fähigkeitslücke, Ziele zwischen 40 und 120 km punktgenau zu bekämpfen, soll damit geschlossen werden. Hierfür soll das taktische Aufklärungssystems KZO (Kap. III.3.1.1) mit einem sogenannten loiterfähigen (d. h., mit der Fähigkeit, längere Zeit über dem Ziel zu verweilen) Strike-Element zu einem Verbundsystem vernetzt werden. Als Strike-Element wird an die HAROP-Angriffsdrohne der Firma Israel Aerospace Industries LTD, ausgerüstet mit einem panzerbrechenden Wirkmittel, gedacht. Eine offene Systemarchitektur soll dabei auch Verbundlösungen mit anderen heutigen oder zukünftigen Aufklärungs- und Wirksystemelementen gestatten.

Vorgesehen war laut Bundeswehrplan 2009 die Beschaffung von zwei Systemen mit jeweils 42 Fluggeräten und der zugehörigen mobilen Bodeninfrastruktur (DFKI/RDE 2008). Ein erstes System soll 2013 zulaufen (BMVg 2008, Anlage 5).

BARRACUDA

Barracuda ist eine deutsch-spanische Kooperation für einen UCAV-Technologiedemonstrator zur »Entwicklung künftiger agiler, autonomer und netzwerkfähiger unbemannter Hochleistungsflugsysteme« (EADS 2009a).

ABB. 10 UCAV BARRACUDA

Quelle: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Barracuda_av_dr.jpg

Nach Angaben des Herstellers EADS besteht der Prototyp komplett aus Kohlefaserverbundwerkstoff, hat ein MTOW von gut 3 t, ist strahlgetrieben und ope-

riert autonom. Er wird von der Bodenkontrollstation lediglich hinsichtlich seiner Flugsicherheit überwacht. Ein Hauptanliegen war, Pionierarbeit hinsichtlich der Zertifizierung von UAV für den kontrollierten Luftraum zu leisten (La Franchi 2006). Im September 2006 stürzte der Prototyp bei seinem zweiten Testflug ab. Mit dem Bau eines zweiten Prototypen wurde das Programm 2008 wieder aufgenommen. Erste Testflüge wurden im Sommer 2009 in Kanada durchgeführt. 2010 erfolgte eine Testkampagne mit autonomen Flügen entlang vorprogrammierter Flugprofile. Barracuda ist in ein mit Bundesmitteln finanziertes Technologieprogramm namens »Agiles UAV in netzwerkgestützter Umgebung« (Agile UAC NCE) eingebettet (EADS 2009b), in dem Datenlinks und andere Netzwerktechnologien für die »netzwerkzentrierte Kriegsführung« entwickelt werden. Zukünftig soll die sogenannte »Sensor-to-Shooter-Mission« bearbeitet werden.

STAND DER BESCHAFFUNG 3.1.3

Einen Überblick, welche UAVs die Bundeswehr beschafft hat, gibt die folgende Tabelle 5.

TAB. 5 ÜBERSICHT DES STANDES DER BESCHAFFUNG UNBEMANNTER FLIEGENDER SYSTEME IN DER BUNDESWEHR

System	Stand der Beschaffung	Beschaffungs-datum	Anzahl	einsatzfähig im Ausland
MIKADO	läuft	seit 2007	39	ja
ALADIN	läuft	seit 2005	114 im Bestand, 27 im Zulauf (Vertrag geschlossen)	ja
KZO	läuft	seit 2001	6 Systeme	ja
LUNA	läuft	seit 2003	5 Systeme, 4 Systeme im Zulauf	ja
Euro Hawk FSD*	Auslieferung 2011	31.01.2007	1 im Zulauf	nein
Heron 1	–	2010/2011	5 Systeme (3 im Einsatz in Afghanistan)	ja

* FSD: »Full Scale Demonstrator«

Quelle: Bundesregierung 2009c, S. 8 f. (Stand: März 2009)[8]; teilweise (Heron 1) ergänzt

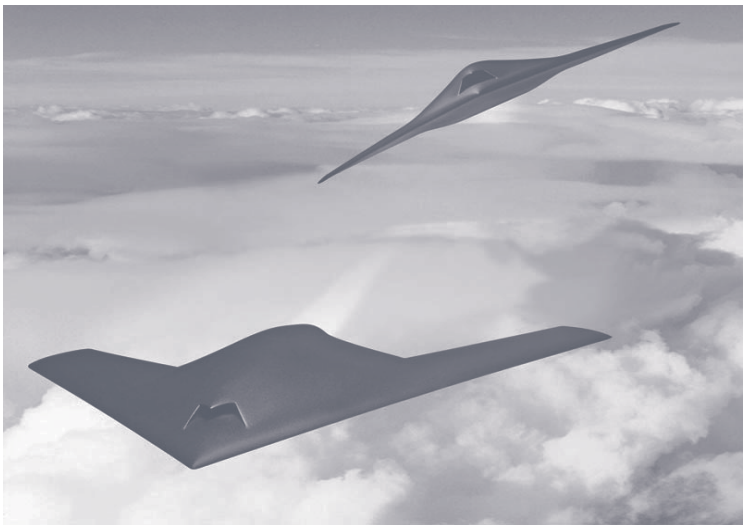
8 Teilweise unterscheiden sich die hier zitierten Angaben von denen in anderen Quellen leicht (BMVg 2008; Klos 2009).

WEITERE UAV-AKTIVITÄTEN 3.2

EUROPÄISCHES UCAV: NEURON

Unter der Führung der Firma Dassault (Frankreich) hat ein europäisches Konsortium im Auftrag der französischen Regierung damit begonnen, einen Technologiedemonstrator für ein europäisches UCAV zu entwickeln (Abb. 11). Beteiligt am nEUROn-Programm sind: Thales (Frankreich), EADS France (Frankreich), Alenia (Italien), SAAB (Schweden), Hellenic Aerospace Industry (Griechenland), EADS CASA (Spanien), RUAG Aerospace (Schweiz). Derzeit erfolgen Konzeptdefinitions- und Machbarkeitsstudien, ein erster Flugtest ist danach geplant.

ABB. 11 NEURON-UCAV-TECHNOLOGIEDEMONSTRATOR-KONZEPT



Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 24

Neben rüstungstechnischen Zielen verfolgt das Projekt auch explizit industriepolitische Anliegen: nEUROn soll ein europäisches Gegengewicht zu den amerikanischen UCAV-Aktivitäten bilden. Es sollen strategisch bedeutsame Technologien entwickelt werden, damit die europäische Luft- und Raumfahrtindustrie in diesem Bereich wettbewerbsfähig bleibt bzw. wird. Da vor 2030 keine neuen Entwicklungsprogramme für Kampfflugzeuge erwartet werden, soll mit nEUROn ein System zur Erhaltung und Weiterentwicklung der industriellen FuE-Kompetenzen in Europa geschaffen werden (Kap. V).

TALARION

Das MALE-UAV »Talarion« (Abb. 12) soll Fähigkeitslücken in den Bereichen Aufklärung, Überwachung und Zielerfassung der Streitkräfte der teilnehmenden Länder Deutschland, Frankreich und Spanien schließen. Im Rahmen eines mit

57,7 Mio. Euro dotierten »Risk-Reduction-Vertrags« mit dem Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB) wurde das Konzept von EADS Defence and Security (jetzt: Cassidian) fortentwickelt und 2009 der Öffentlichkeit vorgestellt. EADS beziffert die Entwicklungs- und Beschaffungskosten auf jeweils etwa 1,5 Mrd. Euro, erste Flugversuche wären 2014 und die Einsatzfähigkeit (»Initial Operational Capability«, IOC) 2017 möglich. Mit 28 m Spannweite und zwei Jettriebwerken ausgestattet, soll Talarion nach Aussagen eines EADS-Sprechers den Anforderungen der Integration in und der Zulassung für den zivilen Luftraum genügen (Defence IQ 2010).

ABB. 12 MODELL DES MALE TALARION PRÄSENTIERT AUF DER PARIS AIR SHOW 2009

Quelle: © EADS

Mit Talarion will die europäische Luft- und Raumfahrtindustrie die Systemfähigkeiten beim Design und Bau von MALE-UAVs demonstrieren und sich im Wettbewerb mit der israelischen (Heron-) und amerikanischen (Predator-)Industrie positionieren (Kap. V.5).

DUAL-MODE-UAVs

Neben der rein militärischen Nutzung werden zukünftig UAVs auch im zivilen Bereich beispielsweise zur maritimen See- und Küstenüberwachung, Grenzüberwachung und Überwachung von Energie- und Verkehrsinfrastrukturen eingesetzt werden. Einen entsprechenden Ansatz stellt beispielsweise das System OPALE (»Optionally Piloted Aircraft Long Endurance«) von Rheinmetall Defence dar. Es basiert auf einem existierenden und zertifizierten Flugzeug der allgemeinen Luftfahrt, der DA42 von Diamond Aircraft Industries (Österreich). Je nach Missionsanforderungen kann OPALE sowohl bemannt als auch unbe-

mannt betrieben werden. Das System kann durch Nachrüstung eines Flugrechners in ein unbemanntes System überführt werden. Diesem Konzept werden einige Vorteile, u. a. hinsichtlich Erprobung und Weiterentwicklung sowie beim Trainingsbetrieb, zugeschrieben, da gegenwärtig UAVs in Deutschland und Europa nur in Gebieten betrieben werden dürfen, die für die zivile Luftfahrt gesperrt sind. Mit einem Piloten an Bord, der in kritischen Situationen, die Kontrolle des Fluggerätes sofort übernehmen kann, könnten quasi unbemannte Missionen auch außerhalb von Luftraumbeschränkungsgebieten geflogen werden. Ein ähnliches Konzept verfolgt z. B. die U.S.-Firma PROXY Aviation Systems mit ihrem System »SkyWatcher« (Proxy Aviation 2009). Ein vergleichbares System bietet auch die Firma Stemme UMS an. Auf Grundlage des Motorseglers S10 wurde das für den bemannten und unbemannten Betrieb geeignete System S15 entwickelt. Dieses im Rahmen des 4. Luftfahrtforschungsprogamms des Bundeswirtschaftsministeriums geförderte System kann für die Aufklärung im urbanen Bereich, aber auch für MALE- und HALE-Einsätze eingesetzt werden. Zu den besonderen Eigenschaften der S15 sollen eine erschwerte Ortbarkeit durch verminderte Geräusch- und Wärmeemissionen gehören (Rosenthal 2010, S. 44 f.).

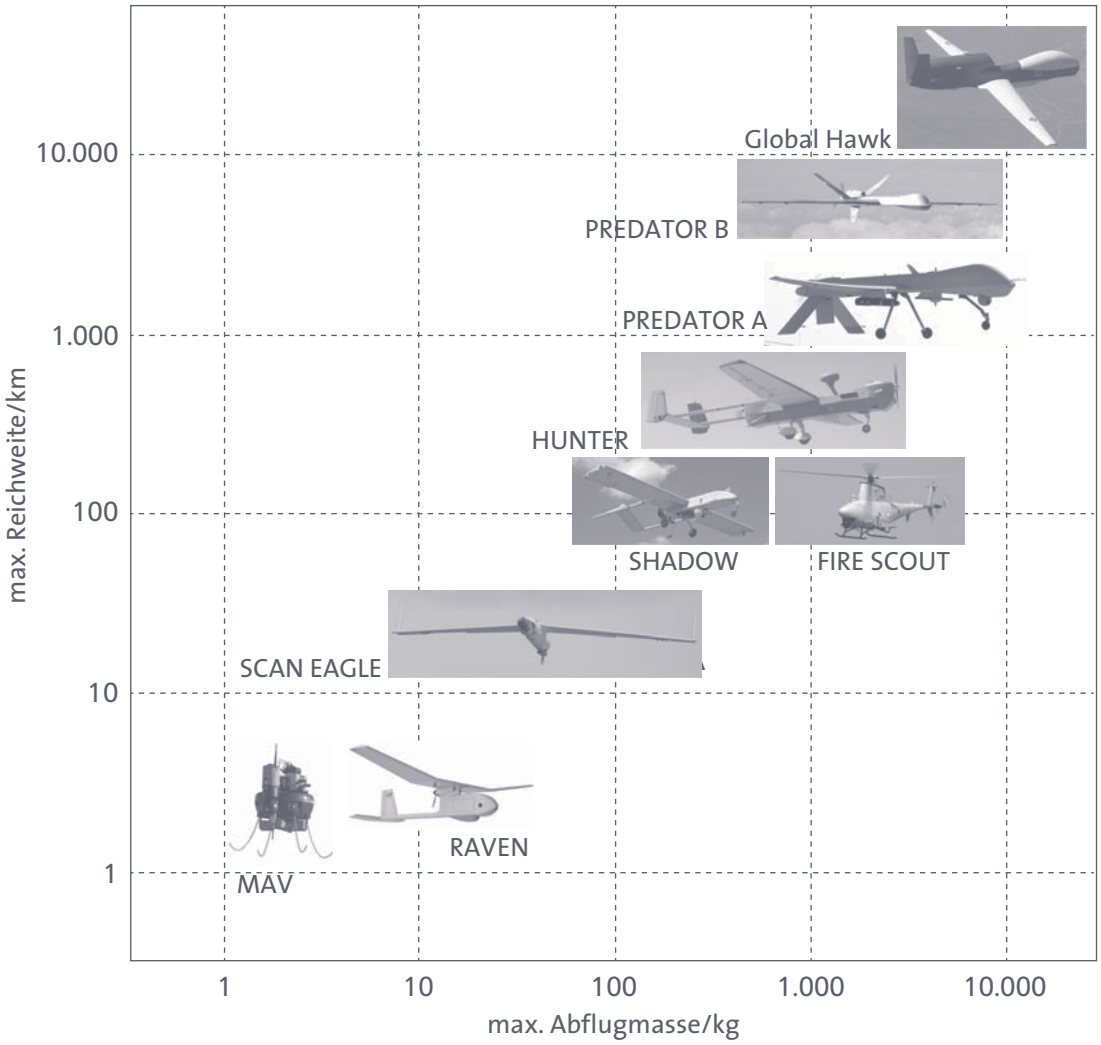
Als zentrale Vorteile solcher Systeme werden der im Vergleich zu reinen UAVs kostengünstige Betrieb, bedingt durch die Nutzung eines zivilen Flugzeugs als Basis, sowie die Möglichkeit zu UAV-Missionen im nichtbeschränkten Luftraum genannt (DFKI/RDE 2008, S. 25).

UAVs IN DEN USA 3.3

Durch ein nach Größe und Leistungsfähigkeit gestaffeltes Spektrum von Systemen wird auch der gegenwärtige Bedarf der U.S.-Streitkräfte an UAVs gedeckt (Abb. 13). Dieses ist allerdings deutlich weiter ausdifferenziert als in Deutschland bzw. Europa (Tab. 6). Auch sind im Unterschied zu den meisten deutschen Systemen die amerikanischen bereits seit vielen Jahren regelmäßig im Einsatz (Bosnien, Kosovo, Irak, Afghanistan). Die Basis hierfür dafür wurde sowohl über zivile Luftfahrtforschungsaktivitäten der NASA in den 1990er Jahren wie auch durch gezielte militärische Forschung der DARPA gelegt.

Ein spektakuläres Beispiel für den fortgeschrittenen Entwicklungsstand amerikanischer UAS ist die Tarnkappendrohne »RQ-170 Sentinel«, die für verdeckte Operationen in Afghanistan eingesetzt wird (Abb. 14). Die Existenz dieses Geheimprojekts (auch »Beast of Kandahar« genannt) der Lockheed Martin Skunk Works ist erst kürzlich offiziell bestätigt worden. Ein Ziel soll sein, kämpfende Einheiten mit Aufklärungs- und Überwachungstechnik unterstützen. Es wird jedoch darüber spekuliert, ob die Maschine nicht vielmehr zur Beobachtung der Raketenprogramme in Pakistan und Nord Korea gedacht sein könnte (Min-seok 2009; Sweetman 2010).

ABB. 13 ÜBERSICHT AMERIKANISCHER UAV-SYSTEME



Quelle: nach DFKI/RDE 2008, S. 22; van Blyenburgh 2009, S. 170 ff.

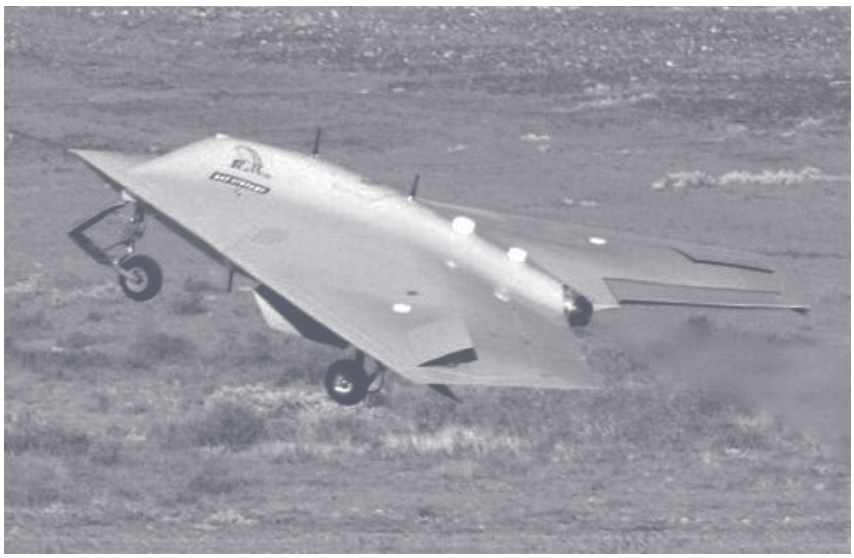
Welch hohen und zukünftig noch steigenden Stellenwert UAVs in den U.S.-Streitkräften einnehmen, zeigen die Langfriststrategien, die z. B. in der »Unmanned Systems Roadmap 2007–2032« (DoD 2007) beschrieben sind. Kurz- bis mittelfristig sollen unbemannte Systeme bemannte Flugzeuge bei Aufklärung und Überwachung mit langen Missionsdauern verdrängen (DoD 2007). Das U.S.-Verteidigungsministerium erwartet in den nächsten Jahren die Einführung eines breiten Spektrums von Systemen. Ab Mitte des zweiten Jahrzehnts wird insbesondere mit leistungsstarken *bewaffneten* Systemen gerechnet, die (auch weitentfernte) Ziele am Boden, aber auch in der Luft bekämpfen (Tab. 7). Entsprechende Entwicklungs- und Beschaffungsprozesse wurden bereits angestoßen bzw. werden erwartet.

TAB. 6 BEISPIELE U.S.-AMERIKANISCHER UAV-SYSTEME

UAV-Kategorie	Name	Hersteller
Micro	MAV	AAI Corp
Mini	Raven	AeroVironment
Close Range	Cobra	Raytheon Missile Systems
Short Range	Scan Eagle	Insitu & Boeing
Medium Range	Shadow 200/400 Fire Scout	AAI Corp Northrop Grumman
Medium Range Endurance	Shadow 600	AAI Corp
Low Altitude Long Endurance	Lears IV	ISL Inc. Bosch Aerospace
Medium Altitude Long Endurance	MQ-1 Predator	General Atomics Aeronautical Systems
High Altitude Long Endurance	Predator B Global Hawk	General Atomics Aeronautical Systems Northrop Grumman

Quelle: van Blyenburgh 2009, S. 170 ff.

ABB. 14 STEALTH UAS RQ-170 SENTINEL



Quelle: http://3.bp.blogspot.com/_yrRP8xe4w58/TKDMtGPANXI/AAAAAAAAADE/2_FKShlFph8/s1600/RQ-170-Sentinel-beast-of-Kandahar.jpg

TAB. 7 GEPLANTER ZEITRAUM FÜR DIE BESCHAFFUNG VON UAVs ZUR DURCHFÜHRUNG SPEZIFISCHER MISSIONEN

Einsatzart	geplante Beschaffung
Versorgung von Sanitätspersonal mit medizinischen Bedarfsgütern	2014
Seepatrouille	2015–2019
HALE-Kommunikationsrelais	2020–2022
Schläge im feindlichen Luftraum (»penetrating strike«)	2024–2028
Angriffsbomber für stark verteidigten Luftraum mit Wirkungsbewertung und Wiederangriffsfähigkeit	2024–2028
Erfassung und Neutralisierung von oberflächennahen Minen	2024–2032
Luftbetankung	2025–2029
Unterdrückung feindlicher Luftabwehr	2030–2032
Höchstgeschwindigkeitssystem globaler Reichweite mit Aufklärungs- und/oder Wirkfähigkeit	2032–2034
Luftkampf	2032–2034
bodennahes Täuschziel mit menschlicher Signatur	2032–2034
getarnte Suche und Versorgung von Personen mit Lebensmitteln und Medizin	2033–2034
präziser Frachtabwurf und Brandbekämpfung	2034

Quelle: DoD 2009, S. 18, 19 u. 55

UNBEMANNTE BODENSYSTEME 4.

Während der Einsatz unbemannter fliegender Systeme für die Streitkräfte vieler Nationen bereits zur Routine geworden ist, sind autonome oder programmgesteuerte unbemannte Bodenfahrzeuge von einem breiten und nach vielfältigen Missionen differenzierten Einsatz noch weit entfernt. UGVs werden derzeit fast ausschließlich zur Kampfmittelräumung (»Explosive Ordnance Disposal«, EOD) und auch nur fernpilotiert eingesetzt. Dies hängt damit zusammen, dass das Umfeld unbemannter Bodenfahrzeuge deutlich komplexer ist als das unbemannt fliegender, schwimmender oder tauchender Systeme. Nicht nur die Topografie, sondern auch die Beschaffenheit des Untergrunds und das überraschende Auftreten unterschiedlichster Hindernisse spannen für UGVs einen hochkomplexen Handlungsraum auf. Dieser ist bis heute – trotz großer technischer Fortschritte – äußerst schwierig zu bewältigen (DFKI/RDE 2008, S. 29).

UGVS IN DEUTSCHLAND 4.1

Die deutschen Streitkräfte verfügen zurzeit über zwei verschiedene unbemannte Bodensysteme. Beides sind mobile, ferngelenkte EOD-Systeme zur Entschärfung von Explosivstoffen. Es handelt sich zum einen um »tEODor« (»telerob explosive ordnance disposal and observation robot«) der Firma Telerob, von dem 58 Stück beschafft wurden, zum anderen sind 13 »Packbot« der U.S.-amerikanischen Firma iRobot im Einsatz (Bundesregierung 2009c, S. 9).[9]

Beim Packbot handelt es sich um ein kabellos gesteuertes System mit integrierter Energieversorgung. Die Sensorausstattung besteht aus einem Restlichtverstärker, einer schwenkbaren CCD-Kamera sowie einer Wärmebildkamera. Durch das vierteilige Kettensystem ist der Packbot in der Lage, kleinere Anhöhen zu überwinden und sich über Treppen zu bewegen (DFKI/RDE 2008, S. 31). Ein ähnliches Fähigkeitsspektrum besitzt der tEODor, mit dem ebenfalls ferngelenkt mechanische Manipulationen zur Entschärfung von Explosivstoffen vorgenommen werden können.

Über die beiden im Einsatz befindlichen Systeme hinaus fördert das BMVg auch gezielt Forschung und Technologieentwicklung für UGVs. Einen Überblick aktueller Projekte gibt Tabelle 8.

Beim Systemdemonstrator des Programms »Teilautonomer Kleinroboter« (»Foxbot«) handelt es sich um ein funkferngesteuertes Kleinstfahrzeug mit teilautonomen Fähigkeiten zur ergänzenden Unterstützung optischer und akustischer Spähaufklärung (Abb. 15). Der implementierte Autonomiegrad erlaubt u. a. das eigenständige Umfahren von Hindernissen oder die autonome Rückfahrt zum Ausgangspunkt. Bei einem Gesamtgewicht von 30 kg steht eine Nutzlastkapazität von 5 kg zur Verfügung. Sowohl bildgebende als auch akustische Aufklärungsmodule lassen sich auf dem Fahrzeug integrieren. Durch die Möglichkeit modularer Zuladungen entsteht eine Multimissionsfähigkeit zum Beispiel im Bereich der ABC-Aufklärung. Die Kommunikation erfolgt entweder über Funk oder im Falle von elektromagnetischen Störungen über Glasfaserkabel (DFKI/RDE 2008, S. 28 ff.; Rheinmetall 2006). In Verbindung mit dem Aufklärungsfahrzeug »Fennek« könnte der mobile Roboter Foxbot für Überwachungs-, Beobachtungs- und Sicherungsaufgaben zum Einsatz kommen (sogenanntes »abgesetztes Subsystem MobRob«) (Schneider 2009; RDE 2009).

9 Auch die Bundespolizei verfügt über einige Exemplare des tEODor- sowie des etwas kleineren telemax-Systems.

TAB. 8 VOM BMVG GEFÖRDERTE TECHNISCHE STUDIEN (SEIT 2007)

Gegenstand des Vorhabens	Auftragnehmer/ Zuwendungsempfänger	Auftragsvolumen (Mio. Euro)	Jahr
teilautonomer Kleinroboter	Rheinmetall Defence Electronics	2,40	2007–2009
unbemannter Aufklärungsroboter	FGAN	3,00	2005–2009
Experimentelles Mensch-Mehrrobotersystem	FGAN	0,45	2007–2009
unbemanntes Landfahrzeug	Base Ten System Electronics GmbH	16,00	2007–2010
Untersuchungen zum autonomen Fahren	UniBw München	1,60	2009–2012
Untersuchungen zur Roboterisierung vorhandener Bundeswehrfahrzeuge	keine Angaben	0,70	ab 2010
Networked Multi Robot Systems	keine Angaben	1,20	ab 2011

Quelle: Bundesregierung 2009c, S. 3 f.

ABB. 15 SYSTEMDEMONSTRATOR »TEILAUTONOMER KLEINROBOTER« (FOXBOT)

Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 29

Auch im Programm »Unbemanntes Landfahrzeug« wurde ein Systemdemonstrator erstellt (Abb. 16). Das Gesamtsystem trägt den Namen »RoboScout« und besteht aus dem Fahrzeug »Gecko«, modularen Nutzlasten und dem Gefechtsstand (»RoboScout Communication Center«, RCC). Bei Gecko handelt es sich um ein Fahrzeug mit einem Gesamtgewicht von 2.800 kg, mit dem fortschritt-

liche Fahrzeugtechnologien wie »drive by wire«, Hybridantriebssystem, Vierradantrieb über elektrische Nabenmotoren sowie Vierradlenkung erprobt werden. Gecko kann via Satellit, mittels terrestrischen Funks und über WLAN mit dem Gefechtsstand kommunizieren. Bei Nutzung der Satellitenverbindung ist ein ferngelenkter Betrieb wegen der Latenzzeiten von bis zu 2 Sekunden nicht mehr möglich. Dies bedeutet, dass alle Reaktionen auf Unvorhergesehenes vom System eigenständig durchgeführt werden. Nur wenn das Fahrzeug ein Problem nicht selbst lösen kann, wird es in einen passiven Zustand versetzt und wartet auf Anweisungen der Einsatzzentrale (Base Ten 2009; DFKI/RDE 2008, S. 29).

ABB. 16 UNBEMANNTES LANDFAHRZEUG »GECKO«

Quelle: BASE TEN SYSTEMS Electronics GmbH

Der Gecko kann auch ohne direkte Steuerung Wegstrecken abfahren, beispielsweise im Konvoibetrieb, wo er dem Führungsfahrzeug folgt oder im MULE-Betrieb, wobei vorgegebene Wegkoordinaten der Orientierung dienen. Wurde ein bestimmter Weg abgefahren und aufgezeichnet, ist das Fahrzeug in der Lage, diese Wegstrecke (inkl. Hinderniserkennung) autonom zu bewältigen (Hohmann 2010).

Ein zur Neukonstruktion von unbemannten Fahrzeugen komplementärer Ansatz ist die Integration (teil)autonomer Funktionen in bestehende Fahrzeuge, um sukzessive mehr Unterstützungsfunktionalität für den Fahrer bereitzustellen, beispielsweise eine vollelektronische Steuerung (»drive by wire«) oder Fahrerassistenzsysteme. Typische Beispiele dieser Vorgehensweise sind in Abbildung 17 dargestellt. Dieser Ansatz hat den Vorteil, dass auf Basis existierender Fahrzeugtypen Funktionen wie das Fahren in der Spur des vorausfahrenden Fahrzeuges (elektronische Deichsel) oder die automatische Rückkehr zum Ausgangspunkt eingerüstet und im Einsatz evaluiert werden können. Darüber hinaus wird die Option eröffnet, autonome Funktionen bzw. Fahrerassistenzsysteme nur bei Bedarf und temporär einzusetzen.

ABB. 17 ELEKTRONISIERTE LANDSYSTEME MIT DRIVE-BY-WIRE-STEUERUNG

links: Wiesel 2 Digital; rechts: Marder Digital; unten: ROBO-FUCHS

Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 28

ZUSAMMENFASSENDE EINSCHÄTZUNG

Einen guten Überblick zum aktuellen Stand der Technik autonomer unbenannter Landsysteme in Europa gibt die Veranstaltung ELROB (»European Land-Robot Trial«), welche seit 2006 unter anderem von der Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V. (FGAN) und dem BMVg ausgerichtet wird. Im Jahr 2008 fand (nach 2006) eine weitere Veranstaltung für den militärischen Bereich statt, an der insgesamt 17 Unternehmen und Institute aus Europa teilnahmen. Tabelle 9 zeigt die Teilnehmer aus Deutschland. In fünf praxisnahen Einsatzszenarien traten die Konkurrenten an: Aufklärung, Feldlagersicherheit; Transport; Maulesel; Kampfmittelräumung. Die Ergebnisse dokumentieren, dass Deutschland bei der technologischen Entwicklung international eine Spitzenposition einnimmt.

ELROB 2008 lieferte aber auch einige wichtige Einsichten in nach wie vor bestehende Defizite. Mängel konnten insbesondere in den Bereichen Kommunikation und Sensordatenfusion ausgemacht werden. Es war aber auch zu erkennen, dass in den eingesetzten Plattformen die Mensch-Roboter-Interaktion eine ausgeprägte Schwachstelle war. Bei der folgenden Veranstaltung im Jahr 2010 mit den Schwerpunkten Aufklärung und Transport zeigten sich Verbesserungen bei den genannten Leistungsdefiziten. Erfolge konnten insbesondere die Teilnehmer

der Universitäten Siegen und Hannover erzielen, die Preise für die Sensordatenfusion bzw. Fortschritte bei der Systemautonomie erhielten (heise online 2010).

TAB. 9 DEUTSCHE TEILNEHMER BEIM M-ELROB 2008

Fahrzeug	Institution	Szenario*	Bemerkungen
Gecko TRS	Base 10 (Hallbergmoos)	1–4	3.000 kg, mil., Skizze mit Waffe
Telerob	Telerob (Ostfildern)	1, 2, 5	2 x 2 Ketten, ca. 1 m
RTS-MoRob-4x4	Leibniz Universität Hannover, Institute for Systems Engineering	1–4	4 Räder, 1,1 m*0.8 m
CANGURU	Diehl BGT (Überlingen), Fraunhofer Institut für Informations- und Datenverarbeitung	1–4	4 Räder, ca. 1 m
AMOR	Universität Siegen, FB 12	1–4	4 Räder, ca. 1 m
RAVON	Universität Kaiserslautern, FB Informatik	1–5	4 Räder, ca. 1.8 m
Rugbot	Jacobs-Universität Bremen	1, 2, 5	2 Räder m. Ausleger, 0,5 m
MuCar-3	Universität der Bundeswehr München	3, 4	VW Touareg
Trobot	Rheinmetall Defence Electronics (Unterlüß)	2–4	8 Räder, ca. 2 m
Wiesel 2 digital	Rheinmetall Defence Electronics (Unterlüß)	1,3	Kette, ca. 4 m
Knight	ForceWare (Eningen)	1, 3, 4, 5	6 Räder, optional Kette, ca. 1.3 m

* 1. Aufklärung; 2. Feldlagersicherheit; 3. Transport; 4. Maulesel; 5. Kampfmittelräumung

Quelle: www.elrob.org/melrob/melrob2008/information/teams-exhibitors.html (7.12.2009)

Bei UGVs ist der Abstand zwischen dem technologischen Entwicklungsstand in Deutschland und den USA deutlich kleiner als bei UAVs (Kap. II.4.2 zu UGVs in den USA). Dies hängt u. a. damit zusammen, dass in Deutschland die Fahrzeugtechnik nicht nur bei militärischen Bodenfahrzeugen, sondern auch in der Automobilindustrie einen hohen Standard aufweist.

UGVS IN DEN USA 4.2

In den U.S.-Streitkräften haben sich UGVs für EOD inzwischen breit etabliert. So wird beispielsweise die Zahl der im Irak und Afghanistan eingesetzten Systeme auf etwa 3.000 (ARCIC/TARDEC 2009, S. 5), in einer anderen Quelle auf über 6.000 beziffert (DoD 2009, S. 19). Unbemannte Systeme haben der aktuellen UMS-Roadmap zufolge über 30.000 Einsätze absolviert (DoD 2009, S. XIII).

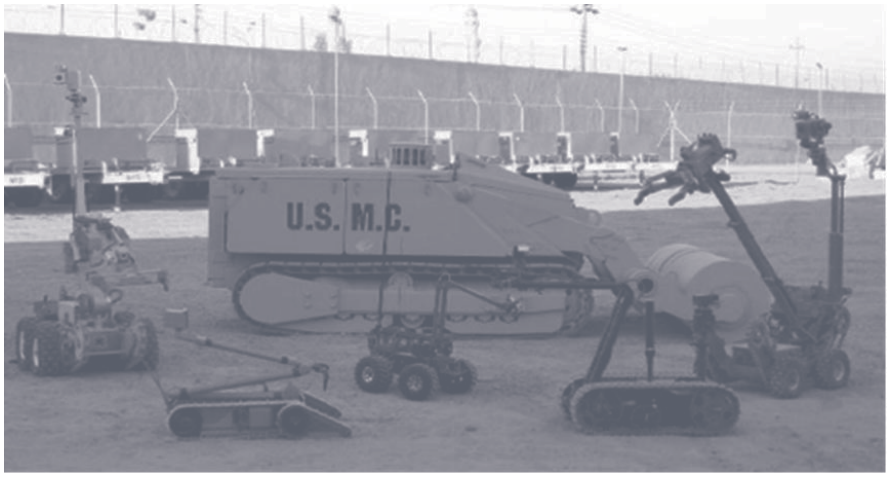
Tabelle 10 und Abbildung 18 vermitteln einen Eindruck der Vielfalt der Systeme. In jüngster Zeit scheint sich das Einsatzspektrum von UGVs hin zu Aufklärung und »force protection« zu erweitern (DoD 2006b, S. 3; DoD 2009, S. 3).

TAB. 10 **UGVS IN DEN STREITKRÄFTEN DER USA**

System	Anzahl im Einsatz	Kurzcharakterisierung
All-Purpose Remote Transport System (ARTS)	74	Entdecken, Bewerten und Neutralisieren improvisierter Sprengmittel und Autobomben
Anti-Personnel Mine Clearing System, Remote Control (MV-4)	21	Neutralisieren von Antipersonenminen
Assault Breacher Vehicle (ABV)	33	Durchbrechen von komplexen Hindernissen und Minenfeldern
Dragon Runner	16	tragbar Erkunden und Sichern von Gebäuden und Straßen, Transport von Sprengladungen zur Bekämpfung improvisierter Sprengmittel
Man Transportable Robotic System (MTRS) MK 1 MOD 0 (PackBot) und MK 2 MOD 0 (TALON IV)	1.372	Aufklären, Zerstören und Beseitigen von Blindgängern und improvisierten Sprengmitteln
MK 3 MOD 0 Remote Ordnance Neutralization System (RONS) (Andros V-A)	271	Aufklären, Aufnehmen, Transportieren, Zerstören und Beseitigen von Blindgängern und improvisierten Sprengmitteln
MK 4 MOD 0 Robot (BOMBOT)	1.842	Transport von Sprengladungen zur Bekämpfung improvisierter Sprengmittel
Mobile Detection, Assessment, and Response System (MDARS)	30	semiautonome Durchführung von Überwachungs- und Patrouillenmissionen
Multifunction, Agile, Remote-Controlled Robot (MARCbot)	670	kameragestütze Untersuchung improvisierter Sprengmittel
Omni-Directional Inspection System (ODIS)	15	Untersuchung von Fahrzeugunterboden
Robo-Trencher	2	Grabenziehen zum Aufbau von Kommunikationsinfrastruktur
Toughbot	51	werf- und fahrbar; audio-visuelle Aufklärung von Gebäuden und im Nahbereich

Quelle: nach DoD 2007, S. 111 ff.

ABB. 18 UGVS DER U.S. ARMY, DIE IN DER OPERATION »IRAQI FREEDOM« EINGESETZT WURDEN



Quelle: RS JPO 2007

ENTWICKLUNGSPROGRAMME

Nachdem das ambitionierte »Future-Combat-System-Programm« mit seiner Vielzahl an geplanten bemannten und unbemannten Bodenfahrzeugen wegen Schwierigkeiten, den Zeit- und Kostenplan einzuhalten (GAO 2009a u. 2009b), drastisch gekürzt wurde, wird die Entwicklung einiger UGVs im neuen Programm »Army Brigade Combat Team Modernization Program« zusammengefasst und weitergeführt (Tab 11).

Nicht mehr im Programm enthalten ist u. a. das »Multifunctional Utility/Logistics and Equipment Vehicle« (MULE), das mit einem Gewicht von 2,5 t das größte und technisch anspruchsvollste Fahrzeug. Es ist in etwa vergleichbar mit dem deutschen »Gecko« (Kap. II.4.1). MULE sollte die Transformation der U.S. Army zu einer Truppe mit leichteren und mobileren Ausrüstung[10] voranbringen. Drei auf einem gemeinsamen Chassis basierende Varianten sollten in der Lage sein, 1 m breite Spalten, Steigungen bzw. Gefälle von mehr als 40 %, 0,5 m tiefe Gewässer und 0,5 m hohe Hindernisse zu überwinden. Im Einsatzgebiet sollten MULE-UGVs von Transporthubschraubern abgesetzt werden und kleine mobile Truppeneinheiten unterstützen. Für die Transportvariante (MULE-T) war vorgesehen, 900 bis 1.200 kg Ausrüstung zu transportieren und autonom der zugeordneten Einheit zu folgen. Die »Countermine-Ausstattung« (MULE-CM) sollte Panzerminen detektieren, markieren und neutralisieren.

10 Die teilweise Folge erhöhter Verwundbarkeit wurde als Problem gesehen, da das Chassis der Wucht unkonventioneller Sprengvorrichtungen nicht standhalten würde.

TAB. 11 UGV-ENTWICKLUNG IM »BCT MODERNIZATION PROGRAM«

Akronym	Bezeichnung	Eigenschaften
SUGV	Small Unmanned Ground Vehicle XM1216	personentragbare (< 30 lbs/13,6kg) Version des iRobot's PackBot Einsätze für Nachrichtengewinnung, Überwachung und Aufklärung im urbanen Umfeld; Aufklärung chemischer/ toxischer Substanzen
ARV-A-L	Armed Robotic Vehicle – Assault (Light) XM1219	2,5 t schweres geländegängiges Fahrzeug Aufklärung, Überwachung und Zielerfassung Anti-Personen- und Anti-Panzer-Waffen
UGS	Unattended Ground Sensors	Es werden zwei Typen entwickelt: Urban UGS (U-UGS) und Tactical UGS (T-UGS) U-UGS: Bewegungsmelder, Kamera für Tages- und Nachtlicht; T-UGS: vernetzte Plattformen mit seis-mischen, akustischen, radiologischen, nuklearen und E-/O-Sensoren

Quelle: U.S. Army 2010, S. 11 f.; für ARV-A-L www.bctmod.army.mil/systems/arval/index.html (24.2.2011)

Die bewaffnete Variante »ARV-A(L)« war als ein multifunktionales UGV vorgesehen, ausgerüstet mit Aufklärungs-, Überwachungs- und Zielerfassungssensorik sowie einer integrierten Waffenstation, die sowohl mit Anti-Personen- als auch Anti-Panzer-Waffen ausgestattet und über das angeschlossene Netzwerk ferngesteuert werden kann. Das XM1219-Projekt wird unter der veränderten Bezeichnung ARV-A-L weiterhin im BCT Modernization Program geführt. Es sind aber keine deutlichen Aktivitäten erkennbar.

Die erwarteten Zeitpunkte und Zeiträume für die Beschaffung von Systemen mit unterschiedlichen Funktionen sind abschließend in Tabelle 12 dargestellt.

TAB. 12 GEPLANTER ZEITRAUM FÜR DIE BESCHAFFUNG VON UGS ZUR DURCHFÜHRUNG SPEZIFISCHER MISSIONEN

Einsatzart	geplante Beschaffung
Neutralisierung von Antipanzerminen	2009–2017 (MULE); 2009–2013 (MACE)
Evakuierung und Versorgung von Patienten	2011–2013
chemische und radiologische Sensoren	2014
integriertes Land- und Luftfahrzeug zur Evakuierung durch biologische, chemische oder Explosions- und Strahlungseinwirkung geschädigter Personen	2014
Basisverteidigungssystem mit Patrouillen-, Wach- und Alarmfunktion	2014–2015
Transport von Ausrüstung, Kommunikationsrelais und Verwundeten	2014–2030
Evakuierung Verwundeter mit Fähigkeit, auf un-/bemannte Fahrzeuge aufzusetzen und an UAVs anzukoppeln	2015–2017
Betankung von Flugzeugen	2015–2018
Auslegung von Minen	2015–2020
verdeckte Verfolgung von Fahrzeugen	2017
Aufklärung von Tunnelsystemen	2017
seeseitige Küstenerkundung nach Annäherung auf dem Meeresgrund	2017
Entern und Untersuchen von Schiffen aller Größen	2017–2018
Inspektion von Flussbetten und Bergungsunterstützung	2017–2020
System zur Fernsteuerung eines schweren Geländewagens	2018
autonome Übungsziele	2019–2034
Frachtabfertigung und Umschlag von Flugzeugen	2020
Konstruktion und Instandsetzung von Landebahnen in einer Kampfumgebung	2020
kleines geländegängiges Allwetterkampffahrzeug	2020–2021
Kontrolle von Menschenmassen durch nichtletale Mittel	2020–2023
Dekontamination von Flugzeugen und Ausrüstung in einer hochgradig belasteten Umgebung	2023–2027
Munitionierung und Umschlag von Flugzeugen	2025
automatisierte Inspektion von Flugzeugen	2025
automatisierter Konvoi	2027–2032
automatisierter Bau von Basen und Stellungen für Expeditionskräfte	2030–2032

Quelle: DoD 2009, S. 21 ff.

UNBEMANNTE SYSTEME ZU WASSER 5.

Unbemannte maritime Systeme umfassen Über- (USV) und Unterwasserfahrzeuge (UUV). Diese können über eine Kabelverbindung ferngelenkt sein (»Remotely Operated Vehicle«, ROV) oder autonom Missionen ausführen (»Autonomous Underwater Vehicle«, AUV)[11].

Die Umgebungsbedingungen beim Einsatz von unbemannten maritimen Systemen verlangen hohe Autarkie (lange Standzeiten insbesondere unter Wasser) und hohe Autonomie, um auch ohne Bediener Missionen durchzuführen. Im Vergleich zu luft- und bodengestützten Systemen ist der technologische Entwicklungsstand in dieser Hinsicht aber deutlich weniger weit entwickelt.

UUV

Die Entwicklung von UUVs nahm ihren Ausgangspunkt im zivilen Bereich. Hierbei standen Einsatzfelder wie die Erkundung des Meeresbodens nach Bodenschätzen, die Verlegung und Kontrolle von Unterwasserkabeln und -rohrleitungen, die Bergung von verlorengegangenem Gerät sowie die Meeresforschung im Vordergrund.

Im UUV Masterplan (DoN 2004, S. 67 ff.) werden vier Größenklassen von UUVs definiert: tragbar (»man-portable«), Leichtfahrzeug (»Light Weight Vehicle«, LWV), schweres Fahrzeug (»Heavy Weight Vehicle«, HWV) sowie Großfahrzeug (»large«) (Tab. 13).

Anders als bei den fliegenden Systemen ist diese Klassifizierung (noch) nicht durchgehend mit existierenden UUVs unterlegt. Weltweit sind bisher nur UUVs der kleineren Klassen (man-portable, und z. T. LWV) regelmäßig im Einsatz. Für größere UUVs existieren lediglich Entwicklungs- und Testprogramme. Wenn diese Phase erfolgreich durchgeführt werden kann, ist jedoch mit Beschaffung und Einsatz größerer UUVs in wenigen Jahren zu rechnen.

Ausgehend von den Anwendungsbereichen Minenortung und Minenbekämpfung, für die UUVs (v. a. ROVs) bereits seit Mitte der 1970er Jahre eingesetzt werden, ist eine Reihe von weiteren potenziellen Einsatzbereichen von großem militärischen Interesse. Beispiele hierfür sind die Erweiterung der Aufklärungsreichweite von bemannten U-Booten bis hin zur großräumigen Ozeanüberwachung oder als Kommunikationsknoten in einem Netcentric Warfare Szenario (Karr 2004). Nach dem UUV Masterplan der U.S. Navy sind unter den vielfälti-

11 In dieser Terminologie bezieht sich der Begriff »autonom« lediglich darauf, dass keine stehende Kommunikationsverbindung via Kabel besteht und das Fahrzeug damit nicht vollständig ferngelenkt ist (entspricht einem Autonomiegrad von mindestens »3« gemäß der Definition in Kap. IV. 1.7). Volle Autonomie (Autonomiegrad »10«) ist damit nicht gemeint.

gen Möglichkeiten beim Einsatz von UAVs drei (von sieben) Einsatzzwecke von höchster Priorität: ISR (»Intelligence, Surveillance, Reconnaissance«), MCM (»Mine Countermeasures«) und ASW (»Anti Submarine Warfare«) (DoN 2004; s. a. DoD 2009, S. 4).

TAB. 13 GRÖSSENKLASSEN VON UUVS NACH DEFINITION DER U.S. NAVY

Klasse	Durchmesser (m)	Verdrängung (kg)	Einsatzdauer hohe Systemlast* (h)	Einsatzdauer niedrige Systemlast* (h)	Nutzlast (Liter)
tragbar	0,08–0,23	< 45	< 10	10–20	7
Leichtfahrzeug	0,32	~ 230	10–20	20–40	30–85
schweres Fahrzeug	0,5	< 1.400	20–50	40–80	110–170
Großfahrzeug	> 0,91	~ 9.000	100–300	> 400	430–850 u. externe Magazine

* Energieverbrauch aller Komponenten außer Antriebssystem

Quelle: nach DoN 2004, S. 67

Die Weiterentwicklung und Leistungssteigerung von UUVs wird ganz wesentlich getragen von vier technologischen Schlüsselbereichen: Energieversorgung, Kommunikationssysteme, Sensorik sowie autonome Führungssysteme (Dean 2004). Fortschritte in diesen Bereichen werden das Anwendungsspektrum von UUVs zukünftig wesentlich erweitern.

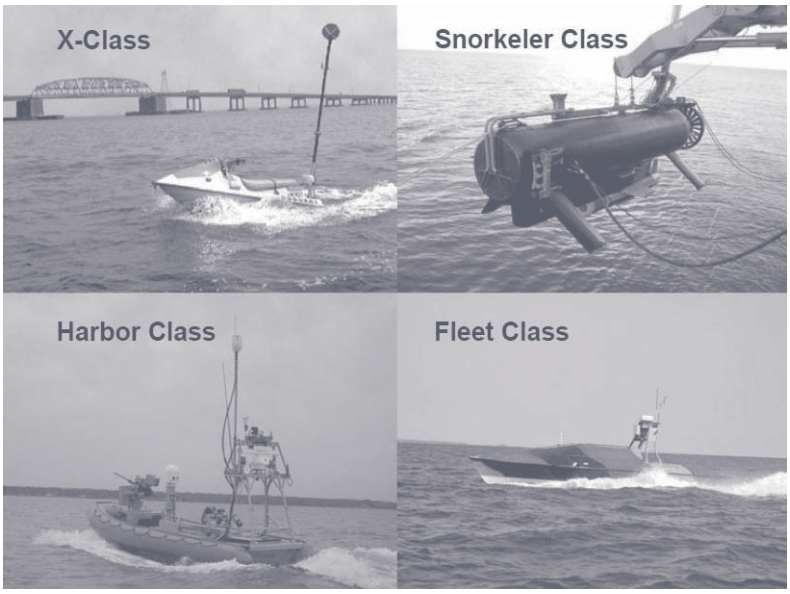
USV

Unbemannte Überwasserfahrzeuge standen lange nicht im Zentrum des Interesses der Seestreitkräfte in aller Welt. Die Entwicklung von USVs hinkt daher der von UUVs um einige Jahre hinterher. Nichts desto weniger spielen USVs inzwischen in den konzeptionellen Überlegungen vieler Länder eine wichtige Rolle. Dieser Wandel ist auch im Kontext asymmetrischer Bedrohungslagen bei Auslandseinsätzen zu sehen. Zur Erfüllung kritischer Aufgaben mit hohem Bedrohungspotenzial versprechen unbemannte Systeme einige Vorteile. Besondere Bedeutung haben dabei die Detektion und Klassifikation von (beweglichen) Objekten unter hohem Zeitdruck.

Auch bei den USVs wird eine vierteilige Klassifizierung vorgenommen (Abb. 19). Drei Klassen beruhen auf standardisierten Fahrzeugen, die einheitliche Führungssysteme besitzen und den Abmessungen bemannter Bootstypen entsprechen, um eine hohe Kompatibilität mit anderen Schiffstypen, aber auch modulare Einsatzkonzepte zu gewährleisten: »Harbor Class«, »Snorkeler Class« und »Fleet Class«.

Die »X-Class« ist hingegen jeweils zweckspezifisch konstruiert. Alle vier Klassen sind für den küstennahen Einsatz ausgelegt (DoN 2007, S. XII u. 59).

ABB. 19 **VIER USV-KLASSEN**



Quelle: DoN 2007; www.navy.mil/search/display.asp?story_id=31482; (15.12.2010)

- »Harbor-Class-USVs« basieren auf dem 7-Meter-Standard-Festrumpfschlauchboot der Navy. Sie sind zur Sicherung von Häfen, maritimen Infrastrukturen und Schiffen sowie für die nachrichtendienstliche Aufklärung und Überwachung vorgesehen, wofür sie sowohl mit tödlichen, als auch mit nichttödlichen Waffen ausgestattet sind (DoN 2007, S. XII, 4, 32 u. 60).
- Zur »Snorkeler Class« gehören etwa 7 m lange Halbtaucherschiffe (abgetaucht bleibt ein Schnorchel an der Oberfläche). Diese werden zur Bekämpfung von Minen, zur U-Bootbekämpfung und -Abwehr innerhalb eines Kampfverbands sowie für Sondereinsätze unter Ausnutzung ihres geringen Oberflächenprofils verwendet (DoN 2007, S. XII u. 61).
- »Fleet-Class-USVs« sind bis zu 11 m lange Einheiten, die für die Aufgabenfelder Minenbekämpfung, U-Bootbekämpfung und Geleitschutz innerhalb eines Kampfverbands, Bekämpfung von hochbeweglichen See- und Landzielen sowie elektronische Kriegsführung modular ausgerüstet sind sowie ohne Ausrüstung für den Transport von Personen oder Material eingesetzt werden können. Sie sollen vor allem von Schiffstypen für die küstennahe Gefechtsführung (Littoral Combat Ships, LCS) eingesetzt werden (DoN 2007, S. XII, 27, 62 u. 86).
- »X-Class-USVs« sind bis zu 3 m lange Einheiten, die speziell für die Anforderungen von Sondereinsatzkräften oder für Abfangmissionen auf See aufgabenspezifisch konstruiert werden. Sie verfügen zur Unterstützung bemannter

Operationen über »Low-End-Aufklärungskapazitäten« und werden von kleinen bemannten Einheiten abgesetzt (DoN 2007, S. XII u. 59).

Mithilfe dieses Spektrums sollen sowohl für die Marine als auch für streikräftegemeinsame Operationen Fähigkeiten für die übergreifenden Zwecke des Heimatschutzes, des Kampfes gegen den internationalen Terrorismus und der irregulären wie der konventionellen Kriegsführung bereitgestellt werden (DoN 2007, S. X).

USVs/UUVs IN DEUTSCHLAND 5.1

Die deutschen Streitkräfte setzen seit langem entweder ferngelenkte oder teilautonome UUVs ein. Aufgabenschwerpunkte sind die Minenjagd und die Minenneutralisierung. Bisher wurden 18 Seehund- und 725 Seefuchs-UUVs der Firma Atlas Elektronik beschafft (Bundesregierung 2009c, S. 9). Beides sind Systeme für den Einsatz von Überwasserschiffen. Der Seefuchs ist ein 1,30 m langes ROV mit semiautonomen Fähigkeiten (z. B. Hindernisvermeidung). Bei einer Missionsdauer von etwa drei Stunden kann er in der »I«-Variante, mit einer missionsangepassten Sensorausstattung (u. a. Rundsicht- und Seitensichtsonar, schwenkbare Videokamera) Objekte finden und identifizieren, in der »C«-Variante kann eine mitgeführte Hohlladung zur Zerstörung von Minen eingesetzt werden (FGAN-FKIE 2008, S. 40; Hornfeld/Wernstedt 2007).[12]

ENTWICKLUNGS- UND ERPROBUNGSPROGRAMME

Seit 2005 wird von der Marine das AUV »Seeotter Mk II« entwickelt. Es besteht ausschließlich aus am Markt verfügbaren Komponenten und kann aufgrund seines modularen Aufbaus in verschiedenen Konfigurationen für unterschiedliche Einsatzzwecke genutzt werden, vor allem zur Seeminenabwehr und für verdeckte Operationen (FGAN-FKIE 2008, S. 49).

Der Seeotter Mk II ist etwa 3,6 m lang und für Einsätze in einer maximalen Wassertiefe von 600 m bei einer Gesamteinsatzdauer von etwa 24 Stunden ausgelegt (Atlas Maridan 2009). Es kann eine Geschwindigkeit von bis zu 8 Knoten erreicht werden. Die Sensorausstattung in der Konfiguration »Minenjagd« besteht aus Hindernismeidesonar, Scheinwerfer und Videokamera, Seitensichtsonar, Meeresbodenanalysator (»Sub Bottom Profiler«, SBP) sowie Fächerecholot. Denkbar wären noch zusätzlich ein Sonargerät mit synthetischer Apertur sowie eine elektro-optische Zusatzkomponente. Zur Beseitigung von Minen könnte z. B. ein ROV vom Typ Seefuchs integriert werden (Vangerow/Maier 2006). Defizite sind zur-

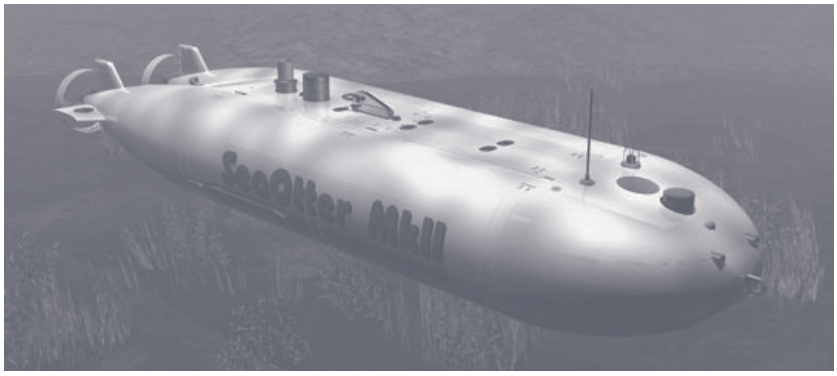
12 Es ist vorgesehen, die veraltete Minenjagddrohne Pinguin B3 durch Seefuchs-Systeme zu ersetzen (Kleinert 2010, S. 2).

zeit noch eine begrenzte Mobilität bei der Hindernisvermeidung sowie eingeschränkte Datenübermittlung (Kleinert 2010).

Nach erfolgreichen Tests ist die Beschaffung eines ersten Loses von fünf MCM AUVs (»Mine Countermeasures Autonomous Underwater Vehicles«) auf Basis des »Seeotter Mk II« ab 2012 vorgesehen (Schneider-Pongs 2010, S. 59).

Als Weiterentwicklung des Seefuchses wurde der Seewolf konzipiert. Dieser war ursprünglich ebenfalls als ROV ausgelegt, um bei längerer Missionsdauer größere Nutzlasten als der Seefuchs transportieren zu können – beispielsweise eine größere Sprengladung, um auch Grundminen zu sprengen. Nachdem das Projekt 2005 eingestellt worden war (Schütz 2009), wurde es neu ausgerichtet und auf dieser Grundlage ein AUV zum Hafenschutz und zur Identifikation und Vernichtung von Minen konzipiert und entwickelt. Durch seine Länge von 2 m sowie seine hohe Manövrierbarkeit (u. a. hat es die Fähigkeit zu »hovern«, d. h. an einer bestimmten Stelle zu verharren) und seinen Side-Scan-Sonar ist es besonders zur detailgenauen Inspektion von Hafenbecken, Liegeplätzen und Hafenzufahrten geeignet (Kleinert 2010; Waltl/Kalwa 2010).[13]

ABB. 20 **SEEOTTER MK II**



Quelle: www.maridan.atlas-elektronik.com/index.php?eID=tx_nawsecuredl&u=0&file=uploads/pics/NJA_2010_001_01.jpg&t=1314191076&hash=6ecccfee88dcabfbcc9d7d95ca5f207cce42785c

Für diesen Einsatzzweck wird ein weiteres AUV, der DAVID der Firma Diehl BGT Defence getestet. Mit einer Länge von 2,6 m und einem Durchmesser von 30 cm hat er die Abmessungen eines kleinen Torpedos und kann von Überwasserschiffen und U-Booten aus eingesetzt werden. Ein Demonstrator wird zur Zeit

13 Das BMWi fördert das Forschungsvorhaben CView. Es hat zum Ziel, ein semiautonomes Inspektionssystem zu entwickeln, mit dessen Hilfe Anomalien an Schiffsrümpfen und Unterwasserbauten erkannt werden können (Waltl/Kalwa 2010).

mit geeigneter Sensorik ausgestattet. Ein Test unter Einsatzbedingungen ist noch nicht erfolgt (Kleinert 2010).

Zum Einsatz in sehr flachem Wasser wurde bzw. wird das UUV REMUS der Firma Hydroid (USA) erprobt. Seit 2007 kommt es bei der Ausbildung von Minentauchern zum Einsatz. Als sogenanntes »Very Shallow Water AUV« soll es zur Unterstützung von Minentauchern – z. B. nach Munition oder Minen – suchen.

Perspektivisch sollen technologische Verfahren entwickelt werden, die den koordinierten Einsatz mehrerer AUVs ermöglichen.[14] Auch will man durch Weiterentwicklungen erreichen, dass das System autonom agiert und dabei Munition nicht nur identifiziert, sondern auch vernichtet (Klocke 2010). In den nächsten Jahren sollen weitere Systeme beschafft werden.

Die deutsche Marine prüft auch die Option eines unbemannten Überwassersystems in der Wasserlinie. Dabei wird zunächst der Ansatz verfolgt, ein Boot so auszurüsten, dass es sowohl bemannt als auch unbemannt eingesetzt werden kann. Dies bietet verschiedene Vorteile, wie die problemlose Integration in vorhandene Schiffseinheiten. Im Rahmen einer Forschungs- und Technologiemaßnahme des BWT wurde ein offenes Sturmboot (Watercat M8 der 8-Meter-Klasse) mit Drive-by-Wire-Steuerung, Fahrerassistenzsystemen, Systemen zur optionalen Fernbedienung sowie Wegpunktnavigation mit Hinderniserkennung ausgerüstet. Auch sollten verschiedene Missionsausstattungen zur Aufklärung und nichtletalen Wirkung (z. B. Nebelwerfer) eingerüstet werden.

Mit einem solchen USV sollen verschiedene Fähigkeitslücken der Marine geschlossen werden, beispielsweise bei der Aufklärung und Überwachung in Häfen, im Rahmen von Boarding Operationen auf See sowie bei der Aufklärung und Neutralisation von Treibminen (DFKI/RDE 2008, S. 37 ff.).

UUVs/USVs IN DEN USA 5.2

UUVs

Die erste prominente Erfolgsgeschichte eines Einsatzes von unbemannten maritimen Systemen im bewaffneten Konflikt war die Minenräumung im Hafen Umm Qasr während der Operation »Iraqi Freedom« mithilfe mehrerer AUVs vom Typ REMUS (»Remote Environmental Measurement Units«) (Dean 2004; Science Blog 2003). REMUS wurde von der »Woods Hole Oceanographic Institution« ursprünglich für die zivile Forschung entwickelt. Seit 2003 sind diese UUVs auch im militärischen Einsatz. Bis heute wurden ca. 200 Stück an verschiedene Länder geliefert (Hodges 2009). Inzwischen gibt es eine Palette unter-

14 Aus EU-Mitteln wird ein internationales Projekt gefördert, das Missionen mehrerer kooperierender AUVs zum Gegenstand hat (Waltl/Kalwa 2010).

schiedlicher Modelle. Das kleinste (REMUS 100) hat einen Durchmesser von 19 cm, wiegt etwa 37 kg und kann bis zu 100 m tief tauchen. Das größte (REMUS 6000) misst 71 cm bei ca. 900 kg und einer Tauchtiefe von 6.000 m (Hydroid 2010a; Hydroid 2010b). REMUS ist das einzige UUV, das in der U.S.-Marine im Routineeinsatz ist. Es existiert aber eine Reihe von Programmen mit dem Ziel, größere UUVs zu entwickeln. Diese sollen sowohl von Überwasserschiffen (v. a. dem neuen »Littoral Combat Ship« [LCS], das in küstennahen Gewässern eingesetzt werden soll) als auch von U-Booten vorzugsweise über das Standardtorpedorohr mit 21 Zoll (53,34 cm) Durchmesser ausgesetzt und geborgen werden.

Zu dieser 21-Zoll-Klasse gehören u. a. das »Battlespace Preparation Autonomous Undersea Vehicle« (BPAUV), das »Long-term Mine Reconnaissance System« (LMRS) sowie das »Mission Reconfigurable Unmanned Underwater Vehicle« (MRUUV).

Battlespace Preparation Autonomous Undersea Vehicle (BPAUV)

Das BPAUV der Firma Bluefin Robotics (ein MIT-Spin-off) wiegt etwa 365 kg und ist 3,1 m lang. Es kann beispielsweise per Kran von einem Schiff (z. B. dem LCS) aus abgesetzt werden und einen vorprogrammierten Kurs mit einer Geschwindigkeit von ca. 3 Knoten (5,6 km/h) in einer Wassertiefe von bis zu 200 m abfahren. Seine Lithium-Polymer-Batterien erlauben 18 Stunden dauernde Aufklärungsmissionen. Mit einem Side-Scan-Sonar (Auflösung 10 cm vorwärts und 7,5 cm seitwärts) können Minen detektiert und klassifiziert werden. Pro Tauchgang kann nach Herstellerangaben eine Fläche von ca. 27 km^2 abgesucht werden. Die U.S. Navy hat vier dieser Systeme seit 2003 einer intensiven Seeerprobung unterzogen und nutzt das System als Technologiedemonstrator (Dean 2004; s. a. DoD 2009, S. 138).

Long-term Mine Reconnaissance System (LMRS)

Das unter der Führung von Boeing entwickelte LMRS ist mit etwa 6 m doppelt so lang wie das BPAUV. Es bietet eine größere Reichweite (140 bis 220 km) und eine höhere Ausdauer (etwa 40 Stunden) (U.S. Navy 2005, S. 100). Sowohl akustische als auch Radiofrequenzkommunikation mit dem Mutterschiff sind möglich (O'Rourke 2006). Im Januar 2006 konnte mit dem LMRS erstmals demonstriert werden, dass ein UUV auf hoher See über das Torpedorohr eines U-Boots ausgesetzt und wieder eingeholt werden kann, was für verdeckte Operationen von großer Bedeutung ist (U.S. Navy 2006).

Mission Reconfigurable Unmanned Underwater Vehicle (MRUUV)

Das MRUUV (Lockheed Martin) baut auf dem LMRS- Design (und dem Vorläuferprogramm »Advanced Development UUV«, ADUUV) auf und nutzt z. T. dieselben Komponenten und Unterstützungssysteme. Es soll mit unterschiedli-

chen Sensorpaketen ausgerüstet werden können, um verschiedene Missionen zu erfüllen, z. B. Fernerkundung für Anti-U-Boot-Operationen, Such- und Überwachungsmissionen, Kommunikations- und Navigationsunterstützung, Monitoring von Massenvernichtungswaffen (U.S. Navy 2005, S. 100). Im Jahr 2008 wurde die Finanzierung des MRUUV-Programms gestoppt, weil die missionsseitig geforderte Ausdauer und Nutzlast nicht erreicht werden konnten (Rusling 2009).

Nach den gemischten Erfahrungen mit UUVs der 21-Zoll-Klasse rücken größere UUVs wieder mehr in den Mittelpunkt der Entwicklungsbemühungen. Dies umso mehr, als durch die beschlossene Modifikation (größere Abschussrohre) von Virginia-Klasse U-Booten ihre Einsetzbarkeit nicht mehr auf die vier SSGN-U-Boote der Ohio-Klasse beschränkt wäre (DoD 2007, S. 148).

Large Diameter Unmanned Underwater Vehicle (LDUUV)

Beim LDUUV kann dabei auf Erfahrungen zurückgegriffen werden, die mit dem Experimentalsystem »Seahorse« (ein UUV mit 38 Zoll Durchmesser [ca. 1 m]) der Pennsylvania State University gemacht wurden (Dean 2004; Peterson/Head 2002). Das LDUUV ist 7,6 m lang und misst 67 cm im Durchmesser, die Maximalgeschwindigkeit beträgt 11 km/h, die Reichweite max. 55 km. Nutzlasten können bis zu 1,80 m lang und 450 kg schwer sein (Jane's 2008; O'Rourke 2006).

Manta Test Vehicle

Im Stadium einer Konzeptstudie befindet sich derzeit das sog. »Manta Test Vehicle«. Es wird vom Naval Undersea Warfare Center (NUWC) entwickelt. Bis zu vier dieser rochenförmigen Einheiten sollen außen an U-Booten befestigt und mitgeführt werden. Der Manta könnte sowohl Sensoren als auch Waffen tragen; auch kleinere UUVs könnten von dieser Plattform aus eingesetzt werden. Es existiert ein Testfahrzeug im Maßstab 1:3. Die Entwicklung bis zur technischen Reife würde vermutlich mindestens zehn Jahre erfordern (Dean 2004; O'Rourke 2006).

USVs

Die U.S. Navy sieht in USVs ein spezifisches Mittel im Rahmen der Seekriegsführung zum Einsatz in Littoralgewässern, u. a. zur Detektion und Bekämpfung von dieselelektrischen U-Booten, bei asymmetrischen Bedrohungen (z. B. sprengstoffbeladene Schiffe) sowie für die Minenjagd (Dean 2008; DoN 2007). USVs sollen auch von einem »Littoral Combat Ship« aus eingesetzt werden (Lundquist 2009).

Im Folgenden werden einige Beispiele vorgestellt:

AN/WLD-1 Remote Minehunting System (RMS)

Das »AN/WLD-1 Remote Minehunting System« (RMS) ist ein Über-/Unterwassersystem, das aus einem halbgetauchten, dieselbetriebenen Fahrzeug besteht, das ein Minenjagdsonar (AN/AQS-20A) an einer Winde hinter sich herzieht. Das Fahrzeug ist 7 m lang, erreicht eine Einsatzgeschwindigkeit von etwa 8 Knoten und wiegt 5,8 t (Karr 2005). Seit 2005 wurden drei (von zwölf geplanten) dieser von Lockheed Martin Corp. hergestellten Systeme für Zerstörer der Aegis-Klasse (DDG-51) ausgeliefert (Dean 2007, S. 5), für das »Littoral Combat Ship« ist es ebenfalls vorgesehen (O'Rourke 2006; s. a. DoD 2007, S. 163)

Spartan Scout

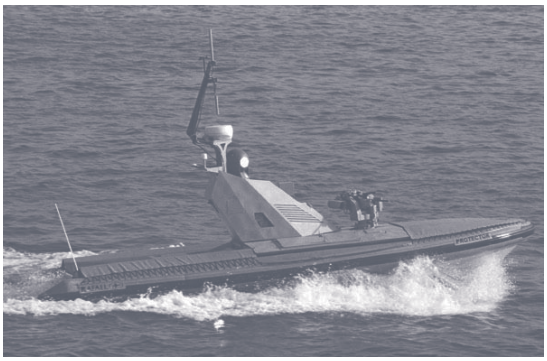
Der Spartan Scout basiert auf einem 7 oder 11 m langen Boot. Es kann autonom oder ferngelenkt eingesetzt und mit modularen Nutzlasten für Minenkriegsführung, ISR (»Intelligence, Surveillance, Reconnaissance«), Hafenschutz, präzise Angriffe gegen Ziele auf dem Wasser oder an Land und möglicherweise Anti-U-Boot-Einsätze ausgestattet werden. Der erste Spartan Scout »Advanced Concept Technology Demonstrator« (ACTD) wurde im Oktober 2003 beschafft. Auch Spartan Scout ist als eine Komponente für das »Littoral Combat Ship« (LCS) vorgesehen (Scott 2008; O'Rourke 2006; s. a. DoD 2007, S. 159)

Protector

Protector ist ein 11-m-Schnellboot, das von Lockheed Martin Corp. zusammen mit BAE Systems plc und Rafael Advanced Defence Systems Ltd. entwickelt wird (Abb. 21). Es soll durch die Einrüstung verschiedener Missionsmodule u. a. für Antiterroreinsätze, Minenkampf und zum Schutz eigener Kräfte geeignet sein (DoD 2007, S. 164). Einige Funktionen (Kollisionsvermeidung, Zielerfassung) laufen autonom ab. Die ersten beiden verkauften Protector-Einheiten gingen an die Marine Singapurs, die sie seit 2005 zur Sicherung ihrer Gewässer einsetzt (Scott 2008). Die U.S.-Marine erprobt die Protector vor allem für Ziele der »Maritime Security« (Dean 2008, S. 5).

USVs sind mittlerweile nicht nur in den USA stärker in den Fokus gerückt, da sie – sei es autonom, sei es ferngesteuert – vielfältig einsetzbar sind. Der »Masterplan« zu USVs verweist auf mehrere Technologien, deren Weiterentwicklung erforderlich sei, um bestimmte Missionen noch besser ausführen zu können. Dazu gehört auch ein höherer Autonomiegrad. Zu diesem Zweck soll u. a. ein Bordrechner entwickelt werden, der Hindernisse nicht nur erkennt, sondern unterscheidet und einordnet sowie selbstständig reagiert (Dean 2008, S. 5).

ABB. 21 DAS FERNGELENKTE SCHNELLBOOT »PROTECTOR«



Quelle: Rafael Advanced Defence Systems Ltd.

Die zeitlichen Perspektiven der Entwicklung und Beschaffung geeigneter mariner Systeme sieht das Verteidigungsministerium relativ optimistisch: Ab 2015 wird mit teilautonomen Systemen zur Minenjagd gerechnet, Systeme für die autonome Verlegung von Unterseeminen werden ab 2022, für deren Bekämpfung ab 2025 erwartet (Tab. 14).

TAB. 14 GEPLANTER ZEITRAUM FÜR DIE BESCHAFFUNG VON UUS/USS ZUR DURCHFÜHRUNG SPEZIFISCHER MISSIONEN

Einsatzart	geplante Beschaffung
ozeanografische Auswertung von Flachgewässern zur Kalibrierung von Sonaren	2012–2015
teilautonome Minenjagd	2015–2017
amphibisches Landefahrzeug	2016
Hafenschutz (nichtletal)	2020–2025
autonome Verlegung von Unterseeminen	2022–2023
autonome Bekämpfung von Unterseeminen	2025–2029

Quelle: DoD 2009, S. 25 u. 26

UNBEMANNTE SYSTEME IN DER BUNDESWEHR: KONZEPTE, EINSATZSZENARIEN, FÄHIGKEITEN III.

Die Verteidigungspolitischen Richtlinien (VPR) von 2003 und 2011 wie auch das Weißbuch 2006 enthalten als Kernaussage, dass eine Gefährdung des deutschen Staatsgebietes durch konventionelle Streitkräfte derzeit und auf absehbare Zeit nicht zu erkennen ist. An die Stelle des Ziels einer herkömmlichen Landesverteidigung ist deshalb der umfassendere Begriff des Schutzes Deutschlands und seiner Bürger getreten. Eine hohe Priorität innerhalb des Aufgabenspektrums der Streitkräfte haben internationale Konfliktverhütung und Krisenbewältigung einschließlich des Kampfes gegen den internationalen Terrorismus.

Die genannten Aufgaben und Ziele stehen nicht nur auf dem Papier. Sie reflektieren vielmehr die Tatsache, dass die Bundeswehr eine *Armee im Einsatz* geworden ist. Als einer der größten Truppensteller im Rahmen multinationaler Einsätze führt sie langandauernde Out-of-Area-Missionen, teilweise mit hoher Intensität durch, die Frieden schaffen oder erhalten sollen. Dabei ist sie mit Formen der asymmetrischen Kriegsführung konfrontiert, für die die verfügbaren Waffen und Geräte oftmals nicht ausgelegt sind (z. B. Lange 2008). Um den daraus resultierenden Herausforderungen gerecht werden zu können, werden wesentlich verbesserte Fähigkeiten als erforderlich angesehen. Entsprechende Maßnahmen zielen dabei auf die folgenden – bereits im Weißbuch (2006, S. 97 ff.) benannten – Fähigkeitskategorien:

- Führungsfähigkeit
- Nachrichtengewinnung und Aufklärung
- Mobilität und Verlegefähigkeit
- Wirksamkeit im Einsatz
- Unterstützung und Durchhaltefähigkeit
- Überlebensfähigkeit und Schutz

Eine Diskussion über eine zukünftig weiter gehende Nutzung unbemannter Systeme durch die Bundeswehr ist auch vor diesem Hintergrund der politisch definierten Zielsetzungen der Streitkräfte und ihres angestrebten Fähigkeitsprofils zu führen. Der Prüfstein für UMS wird dann sein, ob und inwieweit sie dazu beitragen, dass die genannten Ziele erreicht und die erwünschten Fähigkeiten verbessert und gestärkt werden. Die Einsatzerfahrungen in Afghanistan werden dabei mit einzubeziehen sein.[15]

15 76 von 96 fliegenden Systemen der Bundeswehr in Afghanistan sind unbemannt (Bundesregierung 2010b, S. 12)

1. BUNDESWEHRGEMEINSAME KONZEPTE

Die Teilstreitkräfte (TSK) übergreifende Konzepte für den Einsatz von unbemannten Systemen finden sich in den Quellen nur vereinzelt. So ist beispielsweise in den »Konzeptionellen Grundvorstellungen zum Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge in der Bundeswehr (KGV)« sowie in der »Systemfähigkeitsforderung« und der entsprechenden abschließenden »Funktionalen Forderung System zur Abbildenden Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes« ein die Teilstreitkräfte Heer, Marine, Luftwaffe übergreifender Ansatz skizziert. Konkretere Beschreibungen von Einsatzszenarios befinden sich in der Entwicklung durch den Führungsstab Streitkräfte. Deshalb sind die öffentlich zugänglichen Aussagen zu Fähigkeitslücken und Fähigkeitsforderungen und hinsichtlich der Ebene multinationaler, streitkräftegemeinsamer und vernetzter Operationen unvollständig und im Fluss (FGAN-FKIE 2008, S. 15).

Die folgenden Ausführungen verstehen sich deshalb als Momentaufnahme und grobe Skizze. Für informationelle Hilfestellung bedanken sich die Verfasser bei Vertretern des Rüstungsstrangs. Für verbleibende Unrichtigkeiten und Mängel bleibt aber das TAB verantwortlich.

1.1 KONZEPTIONELLER RAHMEN

Die derzeitige Konzeption der Bundeswehr (KdB) – als oberstes streitkräfteübergreifendes Konzeptpapier – enthält in der derzeit aktuellen Version nur wenige konkrete Aussagen zu unbemannten Systemen. Zieht man zusätzlich das aktuell gültige Weißbuch und die »Konzeptionellen Grundvorstellungen« zu UAVs heran, lässt sich folgendes Bild gewinnen (FGAN-FKIE 2008, S. 15 ff.):

- Im Rahmen multinationaler, streitkräftegemeinsamer und vernetzter Operationen sollen Eingreifkräfte der Luftwaffe in die Lage versetzt werden, unabhängig von Tageszeit und Witterungsbedingungen *abbildende und signalerfassende Aufklärungsaufgaben* durchzuführen sowie Ziele am Boden präzise, abstandsfähig und effektiv zu *bekämpfen*. Ferner *unterstützen* Operationen von Spezialkräften sowie Rettungs- und Evakuierungsoperationen. Unbemannte fliegende Systeme der Luftwaffe und des Heeres sollen Aufgaben der abstands- und allwetterfähigen abbildenden Aufklärung zur Unterstützung von Operationen im gesamten Aufgabenspektrum erfüllen. Für den Bereich »Wirksamkeit im Einsatz« und im Komplex »Wirkung gegen Ziele am Boden« ist für Eingreifkräfte die fortschreitende Ergänzung bemannter durch unbemannte Einsatzmittel angesprochen.
- Bei der Neuausrichtung der Luftwaffe hinsichtlich der Ziele *Unterdrückung der gegnerischen Luftverteidigung* und *luftgestützte Aufklärung im Einsatz-*

gebiet ist mittel- bis langfristig der ergänzende Einsatz von unbemannten Plattformen vorgesehen. Als weiterer Beitrag werden bei den Unterstützungskräften luftwaffenspezifische Aufgaben bei streitkräftegemeinsamen Einsätzen genannt. Diese schließen unbemannte Plattformen *zur weiträumigen luftgestützten Aufklärung ein*.

- Im Heer werden die Elemente der bodengebundenen und luftgestützten *Aufklärung* sowie der *Nachrichtengewinnung* durch Feldnachrichtenkräfte in den gemischten Aufklärungsverbänden der Heeresaufklärungstruppe zusammengefasst, wobei unbemannte Luftfahrzeuge zum Einsatz kommen sollen.

Aus den Dokumenten der hohen Hierarchiestufe lässt sich somit als wesentliches Ziel von unbemannten Systemen die Erbringung von Beiträgen zu den Fähigkeitskategorien *Nachrichtengewinnung und Aufklärung* sowie *Überlebensfähigkeit und Schutz* extrahieren. Der Schwerpunkt liegt auf den luftgestützten Systemen, die von allen TSK im Bereich Nachrichtengewinnung und Aufklärung eingesetzt werden sollen.[16] Die Fähigkeitskategorie der *Wirksamkeit im Einsatz* ist auf dieser Dokumentenebene konzeptionell noch nicht so erfasst wie die Aufklärungs- und Schutzbelange.

NACHRICHTENGEWINNUNG UND AUFKLÄRUNG

Durch Aufklärung soll ein aktuelles und umfassendes Lagebild gewonnen werden. Dies umfasst das jeweilige Einsatzgebiet, die dort vorhandenen Kräfte, Mittel und Einrichtungen, die Fähigkeiten und Handlungsoptionen von Gegnern, Konfliktparteien sowie sonstige Risikofaktoren. Aufgeklärt werden sollen aktive und passive, mobile und stationäre, ungetarnte und möglichst auch getarnte Objekte.

Neben der Gewinnung von Bilddaten in Form von Videos sowie Standbildern[17] (»Imagery Intelligence«, IMINT) ist ein weiterer Schwerpunkt die signalerfassende Aufklärung (»Signal Intelligence«, SIGINT). Hierbei handelt es sich um die Aufklärung und Überwachung von Aktivitäten im elektromagnetischen Spektrum. Dies umfasst sowohl das Erfassen des gegnerischen Frequenzspektrums (»Electronic Intelligence«, ELINT) als auch seines Funkverkehrs (»Communications Intelligence«, COMINT). Zur Erreichung der genannten Teilziele der Aufklärung sollen unbemannte Systeme zukünftig verstärkt beitragen. Konzeptionelles Ziel ist,

16 Die konzeptionellen Grundvorstellungen (KGv) zum Einsatz von UAVs in der Bundeswehr nennen als Ziele die Lage-, Überwachungs-, Ziel- und Wirkungsaufklärung. Diese Optionen sollen durch weitere Befähigungen, wie die der Aufklärung von chemischen, biologischen, radiologischen und nuklearen oder explosiven Substanzen, ergänzt werden. Eine Reihe weiterer Einsatzoptionen – z. B. als Kommunikations-Relaisstation, bei der Luftbetankung oder zum Einsatz von Waffen – wird als »denkbar« bezeichnet (Bundesregierung 2009c, S. 2f.).

17 Die Informationen bildgebender Aufklärungssensoren werden auch für die Erarbeitung und Aktualisierung von geografischen Datenbeständen einschließlich digitaler Geländemodelle genutzt (FGAN-FKIE 2008, S. 17).

durch – soweit wie möglich unbemannte – Aufklärung den stark gestiegenen Gesamtbedarf an Informationen über die Lage in Interessen-, möglichen Krisen- und Einsatzgebieten, sicherheitspolitisch relevanten Ländern und Regionen sowie zu militärisch-technologischen Entwicklungen umfassend, zuverlässig und zeitgerecht zu decken. Aufklärung bildet deshalb ein zentrales Aktivitätsfeld unbemannter Systeme.

ÜBERLEBENSFÄHIGKEIT UND SCHUTZ

Überlebensfähigkeit und Schutz – im Sinne einer erfolgreichen Abwendung von Gefahr für Leben und Gesundheit der eigenen Kräfte sowie des Schutzes wichtiger Infrastrukturen – werden als »unabdingbare Grundvoraussetzungen für die Auftragserfüllung« (Weissbuch 2006, S. 100) der Streitkräfte angesehen. Die immanente Fähigkeit unbemannter Systeme zur abstandfähigen Aufklärung und Wirkung wird als eine erfolgversprechende Möglichkeit angesehen, bei der jeweiligen Auftragserfüllung den bestmöglichen Schutz für das Personal zu gewährleisten.[18] Aus Einsatzerfahrungen ergeben sich dabei insbesondere zwei unterschiedliche Anforderungen: Schutz von Kräften in der Bewegung sowie Schutz von Einrichtungen und Objekten.

Die Verwendung unbemannter Systeme trägt dabei in mehrfacher Hinsicht zum Schutz bei: Sie übernehmen solche Aufgaben, die für Menschen besonders gefährlich sind, führen Aufgaben in Bereichen durch, die nicht oder nur schwer zugänglich sind, und können mit ihren unterschiedlichen Sensoren Signale und Daten erfassen, die den menschlichen Sinnen verschlossen bleiben. Als Assistenzsysteme entlasten sie den Menschen von anstrengenden und Routineaufgaben. Mit ihrer Hilfe können auch die Suche und die Abwehr nicht zur Wirkung gelangter Kampfmittel aus sicherer Entfernung sowie der unbemannte Transport gefährlicher Güter effektiver erfolgen. Technologische Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der unbemannten Systeme verbinden sich aus der Sicht der Streitkräfte mit der Erwartung, Soldatinnen und Soldaten bei Aufträgen mit hohem Gefährdungspotenzial zukünftig von gefährlichen Aufgaben noch besser entlasten zu können.

EINSATZHINTERGRÜNDE UND ZIELE 1.2

Mit dem Ziel *internationaler Konfliktverhütung und Krisenbewältigung* beteiligt sich die Bundeswehr gemeinsam mit Streitkräften befreundeter Nationen und Partnern an friedenserhaltenden, stabilisierenden und friedenserzwingenden

18 Der Bundeswehrplan 2008 beispielsweise postuliert, dass bei allen Projekten zur Verbesserung der Einsatzfähigkeit »Maßnahmen zur Abwendung von Gefahr für Leben und Gesundheit aller Angehörigen der Bundeswehr … oberste Priorität haben« (BMVg 2007, S. 2).

Operationen. Damit sollen gewaltsame Konflikte verhindert oder beendet sowie die Konsolidierung von Friedensprozessen ermöglicht werden. Darüber hinaus leistet die Bundeswehr weitere Beiträge in den Einsatzgebieten. Sie können von der Mithilfe bei der Gewährleistung von Sicherheit und Ordnung im jeweiligen Gebiet über die Unterstützung humanitärer Maßnahmen durch Schutzmaßnahmen für eingesetzte militärische Kräfte – auch die anderer Nationen – bis hin zu Schutzvorkehrungen gegen Angriffe mit Massenvernichtungswaffen reichen. Immer häufiger werden dabei Führungsaufgaben bei multinationalen Operationen übernommen.

Aus den auf dieser allgemeinen Ebene diskutierten Aufgaben lassen sich derzeit keine differenzierten streitkräfteübergreifenden Einsatzszenarien für unbemannte Systeme ableiten. Entsprechende Papiere befinden sich, wie bereits eingangs erwähnt, in Vorbereitung durch den Führungsstab der Streitkräfte. Hinweise lassen sich allenfalls aus den Konzepten bzw. Fähigkeitsforderungen interpretieren. Aber auch hier ist zu berücksichtigen, dass die entsprechenden Überlegungen keinesfalls abgeschlossen sind.

Ein Blick auf den derzeitigen Schwerpunkt der unbemannten Systeme im Bereich der Aufklärung lässt folgendes Zielspektrum erkennen (FGAN-FKIE 2008, S. 19):

- Beitragen zu Krisenfrüherkennung und Beurteilung krisenhafter Entwicklungen sowie zur Krisenbewältigung,
- Beurteilen der Lage in Krisen- und Einsatzgebieten,
- Feststellen und Verfolgen militärischer, paramilitärischer und einsatzrelevanter nichtmilitärischer Kräfte,
- Beobachten von Kräftegruppierungen,
- Bereitstellen von Grundlageninformationen für alle Entscheidungsebenen insbesondere zur Vorbereitung und Durchführung von Einsätzen,
- Ziel- und Wirkungsaufklärung,
- Beitragen zu Informationsoperationen,
- Nachbereiten von Einsätzen der Streitkräfte,
- Gewinnen von Daten und Informationen zur Optimierung der Wirkung und Weiterentwicklung eigener Waffensysteme,
- Feststellen von Umweltbedingungen (Wetter, Geländezustand) sowie
- humanitäre Hilfe und Schadenserfassung im Katastrophenfall.

Übergreifende Aufgabe der Kräfte zur Nachrichtengewinnung und Aufklärung ist es, weltweit Informationen und Nachrichten zur Lage in Interessen-, Krisen- und Einsatzgebieten zu gewinnen und zu erfassen. Sie werten diese aus und stellen sie lageabhängig, auftragsbezogen und bedarfsgerecht im streitkräftegemeinsamen zukünftigen Verbund bereit. Übergreifend werden deshalb Fähigkeiten im Bereich der Aufklärung für alle Reichweiten und Ebenen als nötig erachtet. Die

Verfügbarkeit eines echtzeitnahen und ebenengerecht[19] aufbereiteten Lagebilds insbesondere im Einsatzgebiet gilt dabei als entscheidend für einen effektiven Verbund von Aufklärung – Führung – Wirkung.

- Deutschland hat die Absicht, sich am NATO-Programm »Alliance Ground Surveillance« (AGS) zu beteiligen.[20] Mit diesem System von acht Global Hawk-Plattformen soll bündnisgemeinsam die Fähigkeit zur luftgestützten weiträumigen *abbildenden* Überwachung und Aufklärung für die Unterstützung von Operationen am Boden im gesamten Intensitätsspektrum erreicht werden.[21]
- Die mit Nutzungsende des Aufklärungssystems Breguet Atlantic entstandene Fähigkeitslücke in der *signalerfassenden* weiträumigen Aufklärung und Überwachung soll durch den Einsatz des unbemannten luftgestützten Aufklärungssystems Euro Hawk geschlossen werden (näher dazu Kap. III.5.3 u. II.3.1.3).
- Für die Aufklärung und Überwachung in der *Tiefe des Einsatzgebiets* (mit wesentlichem Zuwachs in der Verweildauer sowie verbesserter Allwetter- und Echtzeitübertragungsfähigkeit) ergab eine Marktsichtung, dass mit absehbarer Technik eine Realisierung aller Forderungen des Bedarfsträgers nur mittels eines Systems komplementärer Fähigkeiten möglich sein wird. Empfohlen wurden daher für eine Anfangsbefähigung eine MALE- und eine VTOL-Komponente. Langfristiges Ziel ist die Realisierung mit einer Plattform. Angestrebt wurde zunächst eine Anfangsausstattung (mit einer marktverfügbaren UAV-MALE-Komponente) ab 2010[22] (näher dazu Kap. III.5.3 u. III.3.1.3).

Auch wenn Aufklärung nach wie vor als Ziel mit hoher Priorität gilt, werden UAVs mittlerweile verstärkt auch im Kontext der Fähigkeitskategorie »Wirksamkeit im Einsatz« diskutiert, sodass abzusehen ist, dass unbemannte Systeme generell als Waffenträger eine größere Rolle spielen werden. Hier ist z. B. die Bekämpfung von hochpriorisierten und zeitkritischen Zielen am Boden zu nennen. Dabei können UAVs, ohne eine Besatzung zu gefährden, als taktisches Wirkmittel genutzt werden.

19 Ebenengerecht bedeutet, dass die Informationen auf den Empfänger abgestimmt werden. So benötigen unterschiedliche Ebenen in der Kommando- und Führungsstruktur unterschiedliche Informationen in unterschiedlicher Detaillierung.

20 Laut Bundeswehrplan 2009 mit der Maßgabe, dass der Transatlantic Cooperative AGS Radar (TCAR) auch in den AGS Global Hawk eingerüstet wird (BMVg 2008, S. 36).

21 Im Bundeswehrplan 2008 und 2009 wurde das Projekt UAV HALE/IMINT als nationale Ergänzung von AGS als »nicht einplanbar« erwähnt.

22 Weitere Möglichkeiten zur Bedarfsdeckung wurden »im Rahmen von FuT untersucht« und im Bundeswehrplan 2009 zusammen mit der SAATEG-Anfangsausstattung UAV-VTOL berücksichtigt (BMVg 2008, Anlage 4).

UNBEMANNTE SYSTEME DER STREITKRÄFTEBASIS 2.

KONZEPTE 2.1

Laut Weißbuch ist die Streitkräftebasis (SKB) der »zentrale militärische Organisationsbereich zur Unterstützung der Bundeswehr im Einsatz und im Grundbetrieb«. Die SKB soll streitkräftegemeinsam unterstützen, sodass Infrastruktur und unterstützende Einheiten nicht mehr von jeder Teilstreitkraft separat unterhalten werden müssen. Weiterhin erstreckt sich die Verantwortung der SKB auf logistische Unterstützung, Kampfmittelbeseitigung sowie auf ABC-Abwehr und -Schutzaufgaben. Insbesondere in diesen Bereichen sieht die SKB Möglichkeiten für den Einsatz unbemannter Systeme.

EINSATZHINTERGRÜNDE 2.2

Zur logistischen Unterstützung als zentrale Aufgabe der Streitkräftebasis gehört insbesondere der Transport von Versorgungsgütern aller Art. Unbemannte Transportfahrzeuge (UTF) bieten aus der Sicht der SKB hierbei eine Möglichkeit, bei gleichem oder geringerem Einsatz von Personal eine größere Menge Güter zu transportieren. Vor allem aber wird die Gefährdung von eigenen Truppen durch Beschuss oder Sprengfallen verringert.

Grundsätzlich kann die Steuerung manuell über eine große Distanz, teilautonom oder autonom erfolgen. Problematisch ist die Steuerung aus großer Distanz, da eine sichere Verbindung mit einer der Aufgabe entsprechenden Bandbreite garantiert werden muss. Eine teilautonome Lösung kann über mehrere Möglichkeiten realisiert werden. So könnten UTFs in einen Verband von bemannten Fahrzeugen integriert werden. Dabei müssen entsprechende Sicherheitsabstände eingehalten und dem Führungsfahrzeug gefolgt werden. Ein weiterer Ansatz wäre eine Fahrt nach vorgegebenen Wegpunkten.

Bei Einsätzen unter asymmetrischen Bedrohungen kommen unter anderem improvisierte Sprengfallen (»Improvised Explosive Devices«, IED) zum Einsatz. Eine Option, um Konvois zu schützen, ist ein unbemanntes System (fliegend oder bodengebunden), das vor der jeweiligen Einheit agiert, um eventuelle Sprengfallen zu detektieren. Nachfolgende Einheiten können gewarnt und eventuell Gegenmaßnahmen eingeleitet werden.

FÄHIGKEITEN UND SYSTEME 2.3

Die Streitkräftebasis hat derzeit insbesondere Fähigkeitslücken in der Durchführung der Logistik ausgemacht, die von unbemannten Systemen geschlossen werden können. Dazu gehören die angesprochene abstandsfähige Entdeckung von nicht zur Wirkung gelangten Wirkmitteln wie auch die Durchführung von Konvois mithilfe unbemannter Transportfahrzeuge. Forderungen an solche Systeme ergeben sich sowohl aus deren Funktion, wie auch aus Erfahrungen in Einsätzen der letzten Jahre. Ein entsprechendes Vorhaben »Unbemannte Transportfahrzeuge« ist auf den Weg gebracht worden.

Ein unbemanntes System zum Schutz von Konvois oder Infrastruktur muss die Fähigkeit zur Suche, Erkennung und Lokalisierung von Kampfmitteln (insbesondere Sprengfallen – sogenannte »Improvised Explosive Devices«, IED) mittels geeigneter Sensoren haben. Hierdurch wird eine abstandsfähige Aufklärung solcher Sprengfallen oder auch bei Beschuss aus dem Hinterhalt ermöglicht. Zur Aufklärung gehört zudem die Meldung von für die weitere Reaktion notwendigen Informationen – beispielsweise über die Beschaffenheit des Wirkmittels, Lage oder Art der Auslösung. Um einen Konvoi zu sichern, sollte das UMS sehr schnell agieren, sodass die Marschgeschwindigkeit des Konvois nicht eingeschränkt wird. Ein VTOL-UAV könnte durch eine im Konvoi mitfahrende Bodenkontrollstation geführt werden.

Unbemannte Transportfahrzeuge sollen dort eingesetzt werden, wo eine besondere Gefährdung für die Fahrer besteht. Gleichwohl muss beim Einsatz von UTF der Schutz der Ladung und des Fahrzeugs gewährleistet bleiben. Auch darf von außen nicht erkennbar sein, ob ein Transportfahrzeug bemannt ist oder nicht.Um ein UTF sinnvoll in einem Konvoi einsetzen zu können, muss es einige Grundfunktionen erfüllen können. So ist innerhalb eines Konvois ein bestimmter Abstand zwischen den einzelnen Fahrzeugen einzuhalten. Diese Abstände sind abhängig von der Art der Ladung. Die UTFs müssen aber nicht nur in der Lage sein, diesen Abstand einzuhalten, sondern auch dem Führungsfahrzeug zu folgen. Diese Aufgabe wird als besonders schwierig angesehen, da diese Konvois in Gebieten mit anderen Verkehrsteilnehmern operieren müssen. So darf der Konvoi nicht durch das Einscheren eines konvoifremden Fahrzeugs aufgelöst werden. Weitere zu bewältigende Probleme sind schwierige Wetterbedingungen oder der Ausfall eines Fahrzeugs. Als Eckdaten für eine solche Konvoifahrt (auf asphaltierter oder geschotterter Straße ohne deutliche Fahrbahnbegrenzung oder -markierung) können gelten: Geschwindigkeit bis 50 km/h, Fahrzeugabstand 20 bis 50 m, Reichweite 300 km.

UNBEMANNTE SYSTEME IM HEER 3.

KONZEPTE 3.1

Die Fähigkeiten des Heeres sollen kontinuierlich auf Einsätze zur Konfliktverhütung und Krisenbewältigung, einschließlich des Kampfes gegen den internationalen Terrorismus, im Rahmen von multinationalen Operationen ausgerichtet werden. Hierzu stellt das Heer Eingreifkräfte für Einsätze in Konflikten hoher Intensität sowie für spezielle und Spezialkräfteoperationen bereit. Daneben stehen Stabilisierungskräfte für Einsätze in Operationen mittlerer und niedriger Intensität zur Verfügung. Unterstützungskräfte schließlich haben die Aufgabe der Führung und der logistischen Unterstützung.

Die Beteiligung der Bundeswehr an friedenserhaltenden, -stabilisierenden und -erzwingenden Operationen erfordert für die Einsatzkräfte des Heeres die Fähigkeit, Räume zu beherrschen und dadurch Entscheidungen auf dem Boden herbeizuführen. Hierfür soll der Verbund Aufklärung – Führung – Wirkung wesentliche Voraussetzungen schaffen. Dazu gehört vor allem die Verfügbarkeit eines echtzeitnahen, umfassenden und ebenengerecht aufbereiteten Lagebilds des Einsatzgebietes. Hierdurch kann Informationsüberlegenheit als Voraussetzung für Führungs- und Wirkungsüberlegenheit gewonnen werden (Klos 2009, S. 67). Das frühzeitige Identifizieren und ggf. Ausschalten von Bedrohungen auch auf weite Entfernung dient zugleich dem Schutz der eingesetzten Kräfte. Unbemannte Systeme können aus Sicht des Heeres zur Erreichung dieser Ziele effektiv beitragen: Durch die räumliche Trennung von Mensch und Maschine kann der Schutz der eigenen Truppe erheblich erhöht werden. Die hohe Verfügbarkeit und Ausdauer der Systeme bewirken eine verbesserte Durchhaltefähigkeit der Truppe (Hesse 2010).

Die Einführung *fliegender* unbemannter Systeme im Bereich der luftgestützten Aufklärung und der *bodengebundenen*, abstandsfähigen Kampfmittelabwehr ist bereits erfolgt. Von den zukünftigen technologischen Entwicklungen werden weitere Einsatzmöglichkeiten erwartet.

EINSATZHINTERGRÜNDE UND FÄHIGKEITEN 3.2

Das Heer führt bereits seit 2006 mit dem Rüstungsbereich zweijährlich die »European Land Robot Trial« (ELROB) durch. Dort wird der aktuelle technologische Entwicklungsstand von hauptsächlich unbemannten bodengebundenen Systemen präsentiert. Dabei zeigte sich bisher deutlich, dass der technischen Umsetzung militärischer Anforderungen insbesondere von teilautonomen oder gar autono-

men Systemen mittelfristig noch sehr enge Grenzen gesteckt sind. Aus diesem Grund wurden im Oktober 2009 »Perspektiven zum Einsatz unbemannter Systeme im Heer« formuliert, die eine Synthese aus den bisherigen Erfahrungen der technischen Realisierung und konzeptionellen Forderungen darstellen. Auf Grundlage der Erkenntnisse wurden die bisherigen Forderungen des Heeres an die Robotik überarbeitet und in vorrangige und langfristige Forderungen im gesamten Fähigkeitsspektrum unterschieden.

FÜHRUNGSFÄHIGKEIT

Derzeitige und zukünftig erwartbare Einsätze der Streitkräfte erfordern einen lückenlosen, durchgängigen Informationsaustausch aller Führungsebenen bis hin zum Einzelschützen. Daher wird schrittweise und aufgabengerecht die Fähigkeit zur vernetzten Operationsführung angestrebt. Für die hierfür geforderte verzugslose, automatisierte Informationsübermittlung sind erhöhte Übertragungskapazitäten erforderlich. Gleiches gilt für entsprechende leistungs- und zukunftsfähige sowie interoperable Führungsmittel. Insbesondere bei komplexen Infrastrukturen, über große Entfernung und in durchschnittenem Gelände ist die Informationsübertragung mittels vorhandener Fernmeldemittel aber aufgrund physikalischer Grenzen bisher nur eingeschränkt möglich. Hierzu müssen andere Techniken, z. B. ein Relaisnetzwerk, genutzt werden.

NACHRICHTENGEWINNUNG UND AUFKLÄRUNG

Bei Operationen ist die Gefährdung von Personal, z. B. durch direktes Feuer, Hinterhalte und Sprengfallen, erheblich. Dies gilt insbesondere bei Einsätzen in urbanem Umfeld mit asymmetrischer Bedrohung. Unbemannte, bodengebundene und luftgestützte Systeme zur Lage-, Ziel- und Wirkungsaufklärung sowie zur Gefechtsaufklärung verbessern die Aufklärungsleistung signifikant.

Zukünftige unbemannte Systeme bieten in der Fähigkeitskategorie Nachrichtengewinnung und Aufklärung ein hohes Potenzial zur querschnittlichen Nutzung im Heer und darüber hinaus für die Gefechtsaufklärung als allgemeine Aufgabe im Einsatz. Generell ist der von der Truppengattung unabhängige Einsatz von unbemannten Systemen vor allem auch bei Stabilisierungsoperationen durch ausgebildete Kräfte im Einsatzkontingent zur Gefechtsaufklärung abgestuft denkbar.

Dabei eignen sich *UAVs* aufgrund ihrer Geschwindigkeit und der weniger komplexen Navigationssysteme im Allgemeinen besser zur Aufklärung als *UGVs*. Bodengebundene unbemannte Systeme haben gleichwohl spezifische Stärken, u. a., weil die Dauer ihres Einsatzes erheblich höher ist. Sie sind zudem weitgehend witterungsunabhängig einsetzbar und in der Lage, Objekte aufzuklären, die sich durch Bewuchs, Bebauung oder künstliche Tarnung der Aufklärung aus der Luft entziehen (Hesse 2010, S. 16).

MOBILITÄT

In dieser Fähigkeitskategorie sollen unbemannte bodengebundene Systeme insbesondere der Verbesserung der logistischen Unterstützung dienen. Beim Transport von Menschen und Material (z. B. Versorgungsgüter, Ausrüstungsgegenstände, Verwundete) wird Personal entlastet und für andere Aufgaben (Sicherung) freigesetzt. Je nach Einsatz wird auch die unmittelbare Gefährdung von Personal reduziert.

Des Weiteren ist dieser Kategorie die Fähigkeit zur Pioniererkundung (PiErkd) von u. U. beschädigter Infrastruktur zuzuordnen. Vor allem bei Einsätzen in zerstörten Gebäuden können ferngesteuerte UGVs die Gefährdung von Personal reduzieren, indem sie zerstörte oder einsturzgefährdete Häuser erkunden und die Ergebnisse digital an den Bediener übertragen.

WIRKSAMKEIT IM EINSATZ

Vor dem Hintergrund der komplexen Systemzusammenhänge, des augenblicklichen Entwicklungsstandes der relevanten Technologien sowie der zu berücksichtigenden Umweltbedingungen ist zurzeit an Systeme gedacht, die Beiträge zu mehreren Zielen leisten sollen:

- Unbemannte Systeme, die im Orts-/Nächstbereich eingesetzt werden können, um die Ziel- und Gefechtsaufklärung in gefährlichem und schwerem Gelände zu verbessern und die Überlebensfähigkeit und den Schutz (z.B. von Spähtrupps oder Joint Fire Support Teams) zu erhöhen. In Abhängigkeit von Aufklärungsreichweite und der geforderten Nutzlast (Sensorik/Effektoren) variiert die Größe:
  - tragbare unbemannte Systeme zur Zielaufklärung und Erkundung in Gebäuden, Erkennen von Personen und zur Detektion von Sprengfallen und ihrer Auslösemechanismen,
  - unbemannte Systeme zur Zielaufklärung und Erkundung von Gelände und Infrastruktur im Nächstbereich, zum Erkennen von Personen, zur Detektion von Sprengfallen und ihrer Auslösemechanismen und zum Einsatz von nichtletalen Wirk-, Spreng- und Blendmitteln oder Waffen,
  - unbemannte Systeme zur Artillerieziel- und Wirkungsaufklärung.
- Luftgestütztes System, das im Rahmen allgemeiner Aufgaben beim Einsatz von Infanterie und Panzertruppen in Echtzeit aufklärt, um die Fähigkeit zur zeitgerechten und präzisen Reaktion auf Bedrohungen insbesondere im urbanen Umfeld zu verbessern. Dazu wird eine abbildende Sensorik benötigt, um Personen, Personengruppen, Waffen, Sperren, Fahrzeuge/Plattformen und sonstige Objekte im Orts-/Nächstbereich zu orten und zu identifizieren und ein Lagebild schnell verfügbar zu machen.
- Luftgestützte, weitreichende Sensorplattform, die – sowohl als Einzelsystem wie auch im Verbund mit bemannten Systemen und aktiven Bodensensoren –

tief im Raum aufklärt, um die Fähigkeit zur weitreichenden, abstandsfähigen Ziel- und Wirkungsaufklärung aus der Luft sicherzustellen. Eine Nutzlastvariante mit einer Sensorik, die das Erfassen, Verfolgen und Identifizieren auch kleinster, schnellfliegender Ziele wie ungelenkte Raketen, Artillerie- und Mörsergeschosse, ermöglicht, soll in die Untersuchungen einbezogen werden.

- Unbemannte Systeme, die ohne die Exponierung von Soldaten und Soldatinnen, Ziele am Boden aufklären, identifizieren sowie zeitnah und abgestuft (nichtletale Wirk-, Nebel-, Blend-, Sprengmittel und Waffen) bekämpfen können, um die Zielaufklärung im Orts-/Nächstbereich und die Wirkung gegen Ziele am Boden sicherzustellen. Als Variante soll ein unbemanntes System einbezogen werden, das eine Hubschrauberlandezone über einen begrenzten Zeitraum sichert, Ziele erfasst und identifiziert. Es soll insbesondere in den Phasen An-/Abflug und Stehzeit der Hubschrauber am Boden in der Landezone befähigt sein, durch den Einsatz von Effektoren feindliche Kräfte niederzuhalten, um so den Schutz eigener Kräfte vor direkter Waffenwirkung und die Wirkung gegen Ziele am Boden zu gewährleisten.

UNTERSTÜTZUNG UND DURCHHALTEFÄHIGKEIT

Neben den in der Kategorie »Mobilität« genannten Aufgaben fällt in diese Kategorie auch die Möglichkeit, unbemannte Systeme für Aufgaben, die gefährlich, langandauernd, gleichförmig oder personalintensiv sind, einzusetzen. Sie sollen deshalb dahingehend untersucht werden, ob sie durch unbemannte Systeme übernommen werden könnten, beispielsweise zur Infrastrukturerkundung und Kampfmittelerkennung in bebautem Gelände sowie Kampfmittelräumung in ausgewählten Lagen ohne Exposition von Personal.

ÜBERLEBENSFÄHIGKEIT UND SCHUTZ

Da, wo Systeme statt Personal eingesetzt werden, reduziert sich die Bedrohung der eigenen Soldaten. Insofern dienen die im Kontext der bisher angesprochenen Fähigkeitskategorien genannten Systeme immer auch mit dem Ziel, Überlebensfähigkeit und Schutz der eigenen Kräfte zu erhöhen.

Zum Kernbereich dieser Fähigkeitskategorie zählen sowohl die ABC-Abwehr als auch die Kampfmittelabwehr (Kampfmittelaufklärung, -räumung und -beseitigung). Hierzu müssen sich die eigenen Kräfte bisher in das Gefahrengebiet begeben, z. B. um dort ABC-Kampfstoffe aufzuklären, beziehungsweise Proben zu nehmen. Die hierbei erforderlichen Schutzmaßnahmen schränken die eigenen Kräfte ein. Sind gegnerische Kräfte noch präsent oder ist mit Sprengfallen oder sonstigen nicht zur Wirkung gelangten Kampfmitteln zu rechnen, steigt die Gefährdung eigener Kräfte erheblich an. Durch den Einsatz unbemannter Systeme im gefährlichen Umfeld soll eine deutliche Gefahrenverringerung erreicht werden.

SYSTEME 3.3

Heutige im Heer genutzte bodengebundene unbemannte Systeme verfügen über keinerlei Autonomie. Diese wird allerdings langfristig angestrebt, vorrangige Forderungen definieren erste Zwischenziele. Weitere Forschung ist dazu erforderlich. Diese soll sich auch darauf richten, in einem ersten Schritt zunächst teilautonome Systeme zu realisieren. Diese würden sich selbstständig fortbewegen, bedürften aber für spezifische Aktivitäten der Fernsteuerung. *Langfristige Forderungen* des Heeres sollen in Abhängigkeit von der Verfügbarkeit von Systemen mit autonomen Fähigkeiten und den weiteren technologischen Entwicklungen auf dem Gebiet der Robotik noch detailliert definiert werden. Es wird auch der Einsatz von *bewaffneten* unbemannten Systemen angedacht, die gegen Ziele am Boden und in der Luft wirken. Dies setzt voraus, dass solche Systeme Ziele nicht nur aufklären und identifizieren, sondern auch zeitnah und abgestuft bekämpfen können.

Grundsätzlich kann die heute regelmäßig eingesetzte Fernsteuerung unbemannter Systeme auch auf die Steuerung von *Bordwaffen* ausgedehnt werden, da sich gezeigt hat, dass eine sichere Fernbedienung technisch realisierbar geworden ist. Durch die räumliche Trennung des Waffenbedieners vom Fahrzeug würde einer wesentlichen konzeptionellen Forderung, der Gefährdungsminimierung für das eingesetzte Personal, Rechnung getragen.

Der Einsatz von Systemen, die ferngesteuert oder gar automatisch auf gegnerische Ziele wirken, wird nicht nur aufgrund der technischen Herausforderungen als hochproblematisch angesehen. Es wird auch Prüfungsbedarf hinsichtlich der rechtlichen Implikationen eines Einsatzes bewaffneter UMS insbesondere im Rahmen von Stabilisierungsoperationen konstatiert (Hesse 2010, S. 15). Auch deshalb wird die taktische Verwendung von robotischen Systemen zur wirksamen Bekämpfung von Bodenzielen mit direktem Feuer so lange ausgeschlossen, bis eine ständige Kontrolle der Systeme durch den Menschen technisch sichergestellt ist. Ferner sollte die Entwendung von Waffen, Gerät und Munition technisch weitgehend ausgeschlossen sein.

Im Folgenden wird ein Überblick zu den im Heer in der Diskussion befindlichen Systemen gegeben.

AUFKLÄRUNG

Da *ein* UAV-System die zahlreichen Zwecke der Aufklärung nicht erfüllen kann, sind je nach Einsatzzweck unterschiedliche Größen, Sensorik oder Fähigkeiten erforderlich. Allen Aufklärungs-UAVs ist jedoch gemeinsam, dass sie längere Stehzeiten als die ihrer Vorgänger wie KZO, ALADIN oder LUNA aufweisen sollen. Durch veränderte Antriebskonzepte sollen mehrfache Starts und Landungen möglich werden.

- UAV-Heeresflugabwehrtruppe
  - Erfassung, Verfolgung und Identifizierung kleiner, schnellfliegender Ziele
  - Erfassen von Zielen außerhalb der bodengebundenen direkten Sichtverbindung insbesondere im urbanen Gelände
- UAV-Heeresfliegertruppe
  - einsatzbegleitend und vorrausfliegend
  - tief(st)flugfähig
  - Reichweite: 600 km
  - Erfassung von topografischen, orografischen und meteorologischen Daten

Ein UGV zur Aufklärung ist derzeit bei der Bundeswehr noch nicht im Einsatz, sodass Erfahrungen fehlen, auf die aufgebaut werden könnte. Grundsätzlich soll ein UGV Lageinformationen im Orts-, Nächst-, und Nahbereich gewinnen. Mit einer Anbindung der Sensorik an Führungs- und Waffensysteme können die gewonnen Informationen schnell an den Nutzer gelangen, wobei teilautonome bis autonome Funktionen den Bediener entlasten.

- UGV-mobiles Sensorsystem
  - mobiles Sensorsystem im Nächstbereich
  - Aufklärung in unübersichtlichem und urbanem Gelände
  - Gewicht: max. 5 kg
- UGV-teilautonomes bewegliches System
  - Überwachung , Beobachtung, Erkundung und Aufklärung
  - Reichweite: 5.000 m
  - luftverlade-/lufttransportfähig

Da heutige Waffen meist eine höhere Reichweite haben, als die Sensoren der Trägerplattformen können unbemannte Luftfahrzeuge dazu dienen, die Aufklärung für die Waffenwirkung zu erweitern. Hierzu kann eine Drohne genutzt werden, die für die Trägerplattform eine Zielaufklärung leistet.

- UAV-Zielaufklärung
  - Einsatzradius: 70 km
  - Ziel bei Tag und Nacht unter Dauerbeobachtung
- UAV-Artillerietruppe
  - weitreichende und abstandsfähige Ziel- und Wirkungsaufklärung
  - Reichweite: mindestens 150 km
  - Stehzeit: 8 Stunden
  - Übermittlung von Sensordaten in Echtzeit

Auch ein unbemanntes bodengebundenes Fahrzeug kann zur Aufklärung und Markierung von Zielen genutzt werden.

- UGV-Zielaufklärung
  - Fähigkeit zur Aufklärung und Erkundung von Gelände und Infrastruktur

- UGV-Artillerietruppe
  - Erkennung und Klassifizierung von Objekten
  - Zielgenaue Erfassung
- UGV-Spezialkräfte
  - Unterstützung der Aufklärungs- und Scharfschützenzüge
  - Gewicht max. 5 kg
  - signalerfassende Aufklärungsfähigkeit

In die Überlegungen ist auch eine Relaisdrohne einbezogen. Diese ist als System zur Erweiterung der Funkreichweite gedacht. Durch die Relaisfunktion kann auch in Gebieten ohne Infrastruktur ein Funknetzwerk aufgebaut werden.

- Relais-Drohne
  - querschnittlich nutzbar
  - autonomer Relaisbetrieb
  - Reichweite: 1.000 m
  - mittelfristig: autonome Einnahme der optimalen Relaisposition

UNTERSTÜTZUNG/DURCHHALTEFÄHIGKEIT UND MOBILITÄT

UGVs sind grundsätzlich auch zur *Unterstützung der Soldaten im Gelände* geeignet. Die Ausrüstung eines Soldaten, besonders bei mehreren Einsatztagen außerhalb von befestigten Lagern, ist schwer und umfangreich. Hier können UGVs, die Lasten tragen und den abgesessenen Soldaten autonom folgen, eine effektive Hilfe sein (als »MULE-Funktion«; deutsch: Maultier). Leichte UGVs mit Aufklärungssensorik können z. B. gefährliche Passagen vor der Durchquerung erkunden oder abgesessen eingesetzte Kräfte bei Operationen unterstützen.

- UGV-MULE: Transport von Nutzlasten < 400 kg
- Einsatz in urbanem und schwierigem Gelände
  - geringe Geräuschentwicklung
  - ferngesteuertes oder autonomes Folgen
  - lokale, autonome Hindernisvermeidung
  - Aufnahme von standardisierten Lasten
- UGV-Pionier: Erkundungsoperationen im urbanen Gelände
  - Einsatzradius 300 m
  - Stehzeit: 3 Stunden
  - Gewicht: 50 kg
  - hochbeweglich
  - selbstständiges Aufrichten
  - Türen öffnen
  - Bewegen von Gegenständen
  - Infrastrukturerkundung

WIRKSAMKEIT IM EINSATZ UND ÜBERLEBENSFÄHIGKEIT

- UGV-ABC-Aufklärung
  - Strahlenspüren und -messen
  - Detektion und vorläufige Identifikation von ABC-Kampfstoffen
  - Probennahme

Insgesamt strebt das Heer an, mittels unbemannter Systeme den Schutz der Soldaten im Einsatz weiter zu verbessern, aber auch in anderen Fähigkeitskategorien Zugewinne zu erzielen. Für eine zeitnahe Umsetzung der als erforderlich erachteten Systeme wird dabei ein Kompromiss zwischen der langfristigen Perspektive »autonome« und kurz- bis mittelfristigen Realisierbarkeit gesucht. Für diese Herangehensweise steht exemplarisch das »Mobile Sensor System« zur Gewinnung von Lageinformationen im Nächstbereich, das einen Einstieg in die Implementierung autonomer Funktionen (z. B. Hinderniserkennung) repräsentiert (Hesse 2010, S. 17).[23] Die Bewaffnung von unbemannten Systemen, um gegen Luft- und Bodenziele zu wirken, wird – nach Hesse (2010, S. 15) – »zunächst auch mittelfristig nicht verfolgt«.

UNBEMANNTE SYSTEME DER MARINE 4.

Im Rahmen der Transformation der Bundeswehr hat sich auch der Aufgabenschwerpunkt der Marine geändert. Die Zielsetzung der Verteidigung gegen konventionelle und asymmetrische seewärtige Bedrohungen bringt es mit sich, dass sie Aufgaben überall auf der Welt übernehmen muss, um vor Ort dauerhaft Krisen und Konflikten zu begegnen (Weißbuch 2006, S. 113; s. a. Inspekteur Marine 2008, S. 3). Zugleich bleibt es Aufgabe der Marine, die Küstengewässer und Seeverbindungslinien Deutschlands und seiner Verbündeten zu schützen (Weißbuch 2006, S. 112). Die Gewährleistung maritimer Sicherheit wird als Aufgabe mit wachsendem Gewicht betrachtet (Brinkmann 2007, S. 3 f.). Die Marine wird dabei ihren Beitrag in streitkräftegemeinsamen und multinationalen Operationen erbringen.

Die Fähigkeit zur Seeminenabwehr wird als eine Kernkompetenz der Marine gesehen, da sie in besonderem Maße zum Erhalt der Operationsfähigkeit und den Handlungsmöglichkeiten der deutschen Streitkräfte beiträgt. Dabei soll eine zukünftige Minenabwehr auch IEDs auf Reede und im Hafen im Kontext asymmetrischer Bedrohungen einschließen (Schneider-Pungs 2010, S. 57).

23 Im Bundeswehrplan 2009 waren hierfür Ausgaben in Höhe von 63 Mio. Euro eingeplant (Bundesregierung 2009b, S. 5)

KONZEPTE 4.1

Vor dem Hintergrund des Paradigmenwechsels von einer »Geleitschutz-Marine« zu einer »Expeditionary Navy« ergeben sich neue Schwerpunkte der maritimen Einsätze (FGAN-FKIE 2008, S. 47 ff.):

- weg von großräumig angelegten Operationen auf hoher See hin zu Einsätzen in entfernten Randmeeren und Küstenregionen im Rahmen regional begrenzter Krisen und Konflikte,
- weg von der klassischen Kriegsführung hin zur vernetzten Operationsführung.

Hinsichtlich dieser Aufgabenschwerpunkte bieten die drei Kategorien von Systemen, die unbemannten Fahrzeuge in der Wasserlinie (USV) – die unbemannten Unterwasserfahrzeuge (UUV) und die unbemannten Luftfahrzeuge (UAV) – jeweils unterschiedliche Fähigkeiten, die für die Marine von Interesse sind.

In Konzepten und Einsatzszenarien für unbemannte Fahrzeuge in der Marine (FGAN-DFKI 2008, S. 46 ff.) wird im Bereich der *unbemannten Unterwasserfahrzeuge* (UUV) zwischen zwei Gruppen unterschieden. Die erste Gruppe umfasst die sogenannten ROVs (»Remotely Operated Vehicles«) gehören alle Systeme, welche durch ein Kabel mit dem Operateur verbunden sind, z. B. die schon im Einsatz befindlichen Drohnen »Seefuchs« und »Seewolf«. Die zweite Gruppe sind die autonomen Unterwasserfahrzeuge (AUVs). Diese agieren ohne kabelgebundene Verbindung zur Basis. Hier wird derzeit für die Marine der Seeotter MK II entwickelt und getestet. Er besteht ausschließlich aus marktverfügbaren Komponenten.

Im Rahmen der Kategorie *Nachrichtengewinnung* soll der Einsatz von unbemannten Systemen die Fähigkeit der Marine zur »verdeckten Aufklärung« weiter verbessern. Hierbei dienen unbemannte Systeme sowohl zur operativen Lagebilderstellung als auch für verdeckte Operationen. AUVs, bedingt durch ihre Reichweite, übernehmen dabei eher Aufklärungsmissionen; ROVs werden eher zur Identifikation von aufgespürten Objekten eingesetzt.

Insbesondere bei der *Seeminenbekämpfung* sind UUVs von großer konzeptioneller Bedeutung. Hierbei kann durch geeignete Bewaffnung von unbemannten Unterwasserfahrzeugen ein Minenfeld sowohl aufgeklärt als auch bekämpft werden. Perspektivisch sollen vorrangig unbemannte ferngelenkte Systeme als Wirkmittel für Minenjagd und Minenräumung zum Einsatz kommen (Inspektoren der Marine 2008, S. 24).

Unbemannte Fahrzeuge in der Wasserlinie sind vielfältig einsetzbar und konzeptionell vor allem den Fähigkeitskategorien »Nachrichtengewinnung und Aufklärung« sowie »Überlebensfähigkeit und Schutz« zuzuordnen. Auch als Unterstützung bei der Seeminenräumung werden USVs diskutiert.

Der Einsatz von *unbemannten Luftfahrzeugen* orientiert sich am gewandelten Aufgabenspektrum der Marine, das weltweite und langandauernde Operationen erforderlich macht. Hierfür werden einerseits durchhalte- und durchsetzungsfähige Plattformen benötigt, die eine bestimmte Größe voraussetzen. Da aber Operationen im küstennahen Raum einer hohen Dynamik und Bedrohung unterliegen, sind andererseits kleine, hochmobile, reaktionsschnelle und flexible Seekriegsmittel erforderlich (Brinkmann 2007, S. 4). Dementsprechend strebt die Marine eine effektive Kombination von großen schwimmenden Plattformen und großen fliegenden Systemen zur weitreichenden Aufklärung sowie kleinen Subsystemen zur gezielten punktuellen Ziel- und Wirkungsaufklärung an[24] (System of Systems). Um die geforderten Aufgaben zu lösen, wird im Rahmen von SAATEG (System für die Abbildende Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes) eine Lösung aus zwei Komponenten angestrebt. Für Aufgaben, die eine lange Stehzeit und große Reichweiten erfordern, ist an die Komponente SAATEG-MALE gedacht. Da Starrflügler von schwimmenden Plattformen aus nicht eingesetzt werden können, ist als zweite SAATEG-Komponente ein SAATEG-VTOL (»Vertical Takeoff and Landing«) vorgesehen.

In den Zielvorstellungen der Marine werden auch bewaffnete Systeme angesprochen. So soll geprüft werden, »inwieweit UAVs auch zur Wirkmittelverbringung (ggf. Combat) in Form von UCAVs zum Einsatz gebracht werden können« (Inspekteur der Marine 2008, S. 25).

EINSATZHINTERGRÜNDE 4.2

UUV

Die Marine nutzt seit einiger Zeit unbemannte kabelgebundene Unterwasserfahrzeuge, wie die Einheiten Seefuchs-I und Seefuchs-C oder Seewolf, für den Minenräumeinsatz. Die »I«-Variante des Seefuchses dient dazu, die Art des gefundenen Objektes näher zu bestimmen, während die »C«-Variante dann für die Zerstörung eingesetzt wird. Insofern dienen die unbemannten Unterwasserfahrzeuge zur Sicherung der eigenen und alliierten Schiffe.

24 Beide Aufgaben müssen integriert ausgeführt werden; sie machen aber unterschiedliche Fähigkeiten erforderlich. Ohne eine ständige Überwachung und Lageaufklärung sind vor allem in langandauernden Stabilisierungsmissionen weder eine ausreichende Reaktionszeit, noch auf Dauer die Sicherheit eigener und verbündeter Kräfte zu garantieren. Die bei solchen Aufklärungsmissionen gewonnenen Kontakte können über eine Ziel- und Wirkungsaufklärung identifiziert werden. Die Charakterisierung eines Kontaktes entweder als feindlich oder neutral stellt sich als schwierig dar, sie hat aber vor allem beim Einsatz von unbemannten Aufklärungsdrohnen hohe Priorität (FGAN-FKIE 2008, S. 49).

Für die UUV-Systeme bieten sich vor allem für Kampfmittelabwehr, Seeminenabwehr und Unterwasseraufklärung an (FGAN-FKIE 2008, S. 50 ff.). Zukünftig sollen hier AUVs im Mittelpunkt stehen, da sie wesentlich flexibler agieren können als die kabelgebundenen ROVs. Vorteilhaft ist auch, dass AUVs bei der Seeminenbekämpfung von nichtspezialisierten Plattformen eingesetzt werden können. Auch ist eine schnelle Verbringung durch containerisierte Systeme machbar.

Die *Kampfmittelabwehr*, zu der auch die Seeminenabwehr gehört, erfordert den Einsatz verschiedener Systeme, sodass der Ansatz eines »system of systems« naheliegend ist. Dessen AUV-Module sollen das Detektieren, Klassifizieren und Identifizieren von stationären Objekten (z. B. mögliche Minen) sowohl in tieferen (bis 300 m) Gewässern als auch in flachem Wasser, wie z. B. in Häfen oder in Flussmündungen, übernehmen. Zusätzlich sollen sie als *verteiltes Sensornetzwerk* zum Gesamtlagebild unter Wasser beitragen. Ziele sind hierbei die Sicherstellung der taktischen und operativen Beweglichkeit der eigenen Kräfte einschließlich ihres Schutzes vor Bedrohungen sowie der Beitrag zu einem umfassenden Unterwasserlagebild. Eine Nebenaufgabe ist das Gewinnen von geophysikalischen Daten (z. B. Wassertemperatur, Salzgehalt, Oberflächenrelief des Meeresbodens) für die Einsatzplanung.

Spezifische Einsatzmöglichkeiten für AUVs sind abhängig von Größe und Ausstattung des jeweiligen Systems.

- Kleine AUVs (< 200 kg Wasserverdrängung) sind geeignet, auch Flachwasser, wie z.B. Strandbereich abzusuchen. Die Hafenabsuche ist eine vergleichbare Aufgabe. Allerdings stellt das spezielle Gelände (Hafenbecken, zahlreiche Schiffe) höhere Anforderungen an die Sensorik[25]. In den Aufgabenbereich kleiner AUVs können aber auch die Minen- und Hindernisbeseitigung fallen.
- Mittelgroße AUVs (bis 2 t Wasserverdrängung) können größere Flächen erkunden, weitere Distanzen zurücklegen sowie deutlich umfangreichere Sensorik tragen und daher andere Aufgaben erfüllen. Aufgrund ihrer Größe können solche AUVs auch für die Bergung zuvor ausgesetzter UVVs/AUVs eingesetzt werden.[26]
- Neben diesen speziellen Aufgaben für bestimmte Systeme sind alle AUVs im Bereich der *Aufklärung* einsetzbar. Durch ihre geringe Größe und ihre hohe Manövrierfähigkeit sind sie für verdeckte Unterwasseraufklärung besonders gut geeignet.

25 Für den Seewolf ist ein hochauflösendes 3-D-Sonar vorgesehen. Hiermit ist es möglich, in einem Bereich von um die 10 m auch bei schlechter Sicht aufzuklären.

26 Solche Missionen könnten so vonstatten gehen, dass ein autonomes System in einem vordefinierten Gebiet ausgesetzt wird. Es sucht dieses ab, markiert Kontakte auf einer Karte und klassifiziert diese grob. Nach der Rückkehr zum Basisschiff kann das AUV umgerüstet und mit einem Bergemodul versehen werden. Danach soll es selbstständig zu einem Kontakt zurückkehren. Die eigentliche Bergeoperation könnte dann von einem Operateur durch eine direkte Verbindung (Funk oder akustisch) durchgeführt werden (FGAN-FKIE 2008, S. 51).

UAV

Für Eingreif- und Stabilisierungsoperationen[27] gibt es unterschiedliche Szenarien für unbemannte fliegende Systeme.

Eingreifoperationen

Für den Schutz der eigenen Kräfte ist es notwendig, den Gegner auf möglichst große Distanz zu bekämpfen. Jedoch ist die Reichweite der Waffen auf einem modernen Kampfschiff deutlich höher als die Reichweite der bordeigenen Sensoren. Um die vorhandenen Waffen bis an ihre Wirkungsgrenzen einsetzen zu können, bedarf es also einer Feindaufklärung, die unabhängig von der großen schwimmenden Plattform agieren kann (Fremdorter). Da bemannte Systeme in Küstennähe einer großen Gefährdung ausgesetzt sind, bieten sich unbemannte Systeme an (Brinkmann 2007, S. 6). Weiterhin erhofft man sich von einer Feindaufklärung mit UAVs in kurzer Zeit eine deutlich höhere Sicherheit über die Identität des aufzuklärenden Objekts (»time sensitive targeting«) und damit eine Reduzierung von Kollateralschäden (Brinkmann 2007, S. 5).

Stabilisierungsoperationen

Maritime Stabilisierungsoperationen richten sich nicht wie Eingreifoperationen gegen einen militärisch organisierten Gegner, sondern werden durch die Auseinandersetzung mit nur teilweise organisierten Kräften bestimmt. Die Aufgaben von typischen maritimen Stabilisierungsoperationen sind die Seeraumüberwachung, der Schutz der Schifffahrt sowie sogenannte Maritime Interdiction Operations (Brinkmann 2007, S. 7 f.).

Überwachung besteht einmal in der Lageaufklärung. Im Fall unidentifizierter oder nichtkooperativer Kontakte, also von Zielen, die nicht von sich aus (z. B. über ein Erkennungscode) ihre Identität preisgeben, müssen diese mit einer Ziel- und Wirkungsaufklärung eindeutig identifiziert werden. Ein solches Zusammenwirken kann mit unbemannten Systemen gut erreicht werden.[28] Insbesondere die große Reichweite und die lange Einsatzdauer von MALE- und HALE-Systemen sind hier von Vorteil. Jedoch sind beide Aufklärungsarten in der Ausführung so verschieden, dass sie nur durch ein »System of Systems« streitkräfteübergreifend realisiert werden können (FGAN-FKIE 2008, S. 53).

27 In den »Zielvorstellungen 2025+ »werden weiterhin Operationen zur Landes- und Bündnisverteidigung, Dauereinsatzaufgaben sowie ständige Aufgaben und Grundbetrieb genannt (Inspektor der Marine 2008).

28 Als konkretes Szenario im Zusammenspiel von unbemannten und bemannten Systemen beschreibt beispielsweise die U.S. Coast Guard einen Einsatz zur Sicherung von Häfen oder Handelsrouten, aber auch z. B. zur Durchsetzung eines Embargos. Hierbei klären unbemannte Luftfahrzeuge auf. Sie identifizieren Ziele und liefern ggf. erste Erkenntnisse über Verdachtsmomente an Bord von Handelsschiffen. Der Bordhubschrauber verbringt schließlich das Boardingteam, während das UAV das Geschehen auf dem zu boardenden Schiff im Auge behält (Brinkmann 2007, S. 8).

FÄHIGKEITEN UND SYSTEME 4.3

Die Marine plant einen verstärkten Einsatz von *Unterwasserfahrzeugen*, um insbesondere eine »Aufklärung für alle Reichweiten und Ebenen« zu ermöglichen. Fähigkeitsforderungen ergeben sich auch aus den Begrenzungen schon vorhandener Fähigkeiten der Marine. Hier sind zu nennen (FGAN-FKIE 2008, S. 53 ff.):

- *Verdeckte Aufklärung*
  Unbemannte Systeme sollen die Fähigkeiten, die schon durch Kampftaucher und U-Boote vorhanden sind, verbessern.
  Seeminenabwehr
  AUVs als »zu entwickelnde Seeminenabwehrfähigkeit« (Vangerow/Maier 2006, S. 16) sollen die Fähigkeitslücke bei der Seeminenabwehr, beispielsweise bei der Unterwasserlageerstellung, schließen. Erwartet wird auch eine Erhöhung der Aufklärleistung, insbesondere soll die untersuchte Fläche pro Zeit deutlich vergrößert werden.

Weiterhin sollen AUVs zur Erreichung folgender Ziele beitragen:

- Schutz des eigenen Personals;
- schneller Einsatz zur Minensuche, da spezialisierte Mineneinheiten nicht unbedingt notwendig sind;
- Aufklärung von Objekten im Hafenbereich;
- Aufnahme von Daten zur Lageerkennung (u. a. auch geophysikalische Daten wie Salzgehalt oder Strömung);

In der Fähigkeitskategorie »Nachrichtengewinnung und Aufklärung« sieht die Marine einen spezifischen Mehrwert von *unbemannten Luftfahrzeugen*. Gemäß dem »Forderungsprofil See für die Abbildende Aufklärung« soll die Aufklärung in einem Kreis mit einem Radius von ca. 350 km um die schwimmende Plattform durch den MALE-Anteil eines Aufklärungssystems erfolgen. Zusätzlich ist von den unbemannten Systemen in einem 60°-Ausschnitt des 350 km durchmessenden Kreises ein Beitrag zur Identifizierung und Zielverfolgung zu leisten. Da die schwimmende Plattform bis zu 2.000 km von der nächsten Basis eingesetzt werden soll, die Sensordaten für die Identifizierung und Zielverfolgung allerdings echtzeitnah verfügbar sein müssen, ist eine VTOL-Komponente (»Vertical Takeoff and Landing«) eine naheliegende Option. Hierzu hat die Marine den Campcopter S-100 getestet (Kap. II.3.1.1). Im Jahr 2012 soll das erste, speziell für die Marine gerüstete Fluggerät einsatzbereit sein. Mit der Einrüstung dreier Korvetten soll dann ab 2013 begonnen werden (Bundesregierung 2009c, S. 8).

UAVs sollen auch weitere Fähigkeitslücken schließen. Dazu zählen beispielsweise:

- Aufklärung in Küstennähe: Hierbei besteht für Bordhubschrauber eine hohe Bedrohung. Dies kann den Einsatz bemannter Systeme erschweren bzw. ganz

unterbinden. Ein UAV als abgesetzter Sensor kann Aufklärungslücken schließen und die bemannten Systeme ergänzen.
- Aufklären zur Erweiterung des Wirkraumes einer schwimmenden Plattform: Aktuelle Waffensysteme auf Schiffen sind deutlich weiter reichend als die bordeigenen Sensorsysteme. Unbemannte fliegende Systeme können hier, bei gleichzeitigem größtmöglichem Schutz der Soldaten, diese Aufklärungslücke schließen und die Wirkreichweite der schwimmenden Plattform erhöhen.

Explizite Forderungen die an unbemannte Luftfahrzeuge im Einsatz der Marine gestellt werden, sind u. a.:

- Unabhängigkeit von Tageszeit/Wetter und Klima
- Identifizierung von nichtkooperativen Objekten
- Erzeugung von Still- und Bewegtbildern
- Verlegbarkeit per Straße, Schiene, See- und Luftweg

UNBEMANNTE SYSTEME DER LUFTWAFFE 5.

Der Prozess der Transformation der Bundeswehr beeinflusst auch die Luftwaffe hinsichtlich ihrer Ausrichtung auf künftige Einsätze sowie in Bezug auf ihr Fähigkeitsspektrum. Dies schließt insbesondere die Fähigkeiten zur vernetzten Operationsführung (NetOpFü) ein, also Führung und Einsatz von Streitkräften auf Grundlage eines streitkräftegemeinsamen, die Führungsebenen übergreifenden und interoperablen Kommunikations- und Informationsverbundes. Vernetzte Operationen gelten als »force multiplier«, die vorhandene (und zukünftige) Fähigkeiten in ihrer Wirkung verstärken. Im Zuge der Transformation sieht sich die Luftwaffe auf dem Weg hin zu Befähigungen für Einsätze weltweit im gesamten Spektrum von Eingriffs- und Evakuierungsoperationen.

KONZEPTE 5.1

Für die Luftwaffe ist die weitere Einführung von UAVs einer der Schritte zur vernetzten Operationsführung sowie eine Möglichkeit, ein »Leuchtturmprojekt« der Transformation voranzubringen (FGAN-FKIE 2008, S. 61 ff.). Dabei setzt sie auf das Prinzip des komplementären Einsatzes bemannter und unbemannter Luftfahrzeuge. Im Licht der sicherzustellenden bzw. zu verbessernden Fähigkeiten stellt sich die Eignung von UAVs aus der Sicht der Luftwaffe wie folgt dar:

FÜHRUNGSFÄHIGKEIT

Im Sinne der Prinzipien der NetOpFü bringen UAVs, insbesondere als mobile Relaisstationen, eine deutliche Vergrößerung der Reichweite drahtloser Kom-

munikation mit sich. So können insbesondere MALE- und HALE-UAVs als Unterstützungselemente agieren und kurzfristig zusätzliche Kommunikationsleistungen auch in infrastrukturschwachen Regionen erbringen. Aufgrund der verhältnismäßig hohen Mobilität und der zum Teil schnellen weltweiten Verfügbarkeit sind UAVs potenziell eine Ergänzung der satellitengestützten Kommunikation. Auch kann mit UAVs kurzfristig auf geänderten Kommunikationsbedarf reagiert werden.

NACHRICHTENGEWINNUNG UND AUFKLÄRUNG

UAVs können sowohl zur weiträumigen Aufklärung als auch bei der Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes einen wesentlichen Beitrag leisten. Dabei kommt der Luftwaffe durch ihre Fähigkeiten zur schnellen Schwerpunktbildung, zu großer Reichweite und hoher Mobilität eine wichtige Rolle zu. UAVs mit langer Verweildauer in einem Einsatzgebiet sind hier von besonderer Bedeutung, da sie große Gebiete über eine lange Zeit überwachen können. Auch in der großräumigen Aufklärung in Bezug auf ABC-Kampfmittel eignen sich UAVs in besonderem Maße, da keine Besatzung gefährdet ist.

MOBILITÄT UND VERLEGEFÄHIGKEIT

Durch den verringerten Aufwand an Personal und die längere Verweildauer von UAVs im Einsatzgebiet wird im Vergleich zu bemannten Plattformen ein geringerer Umfang an Unterstützungsleistungen im Einsatzgebiet benötigt. Dies könnte zur Reduzierung des logistischen Aufwandes und Verringerung des *Verlegeumfangs* führen. Für die Fähigkeitskategorie *Mobilität* wird potenziell Nutzung von UAVs als unbemannte Tankflugzeuge einbezogen.

WIRKSAMKEIT IM EINSATZ

Als besondere Stärke von UAVs wird die Wirkung gegen Ziele *am Boden* gesehen. Die lange Stehzeit in einem Einsatzgebiet in Verbindung mit der Fähigkeit zum Einsatz von Wirkmitteln eröffnet die Option kontinuierlicher Wirkungsmöglichkeit gegen einen Gegner. So würde eine ständige Überwachung bei gleichzeitiger schneller Reaktion auf Bedrohungen (»permanent engagement capability«) gewährleistet. Damit tragen UAVs zur Wirkungsüberlegenheit bei, geben aber auch ein Mittel an die Hand, gezielt eskalierend wie auch deeskalierend zu wirken. Durch die Kette Aufklärung-Führung-Wirkung wird ein Handlungsvorteil erzielt, und es wird die Handlungsfreiheit eines möglichen Gegners eingeschränkt.

Mit der Einführung bewaffneter Aufklärungs-UAVs in einem ersten Schritt und perspektivisch mit speziell auf den Einsatz von Wirkmitteln hin optimierten UAVs ließe sich das Fähigkeitsprofil der Luftwaffe deutlich verbessern. Ein Einsatz von UAVs zur Bekämpfung von Zielen *in der Luft* (z. B. auch in einem Luft-

kampf) wird als grundsätzlich möglich erachtet. Derzeit stellt die Fähigkeit zum Einsatz von Wirkmitteln mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugen aber noch keine dokumentierte Fähigkeitsforderung der Luftwaffe dar. Allerdings führt die Konzeption der Bundeswehr aus, dass die Wirkung gegen Ziele am Boden durch unbemannte Einsatzmittel mittel- bis langfristig vorgesehen ist (Bundesregierung 2009c, S. 2 f.).[29]

ÜBERLEBENSFÄHIGKEIT UND SCHUTZ

UAVs liefern schon durch ihren Beitrag zur Nachrichtengewinnung und Aufklärung und damit zu einem umfassenden, echtzeitnahen, gemeinsamen und rollenorientierten Einsatzlagebild (GREL) einen wesentlichen Beitrag zum Schutz der eingesetzten Kräfte und Mittel. Der Verzicht auf eine Besatzung sowie der Einsatz von weniger oder sogar keinem Bodenpersonal im Einsatzgebiet stellen zudem einen Beitrag zur Kategorie Überlebensfähigkeit und Schutz dar.

EINSATZHINTERGRÜNDE 5.2

Priorität bei den Aufgaben unbemannter Systeme haben kontinuierliche Aufklärung und Überwachung, da diese aufgrund ihrer Dauer in hohem Maße beanspruchend für Personal und Material sind. Der Einsatz von zusätzlich bewaffneten Aufklärungs-UAVs könnte einen wirkungsvollen Beitrag zum Schutz sowie zum Erhalt der eigenen Handlungsfähigkeit leisten. Von Bedeutung sind schließlich auch Einsätze unter hoher Bedrohung wie die sogenannten SEAD-Missionen (»Suppression of Enemy Air Defences«) zur Unterdrückung der feindlichen Luftabwehr.

Die Rolle unbemannter Systeme stellte sich je nach Einsatzziel unterschiedlich dar (zum Folgenden FGAN-FKIE 2008, S. 63 ff.).

Friedenserhaltende Einsätze

In diesem Fall eines multinationalen Einsatzes unter dem Mandat der UNO ist die Anzahl der eingesetzten Truppen oftmals sehr begrenzt. Deshalb nimmt die Erstellung einer umfassenden, echtzeitnahen Einsatzlagebilderstellung mit geeigneten Aufklärungssystemen eine Schlüsselrolle ein.

Die Aufklärung für solche »Peacekeeping-Missionen« kann mithilfe von UAVs gestaffelt über verschiedene Ebenen erfolgen.[30] Für die *weiträumige Aufklärung*

29 Im Datenwerk zum Bundeswehrplan 2009 (BMVg 2008) war – beginnend 2016 – ein Planungsvorbehalt für eine Mehrzweckplattform Luftwaffe »Unmanned Combat Aircraft Vehicle« abgebildet (Bundesregierung 2009c, S. 10).

30 Oberste Ebene ist die *weltweite Aufklärung* mittels Satelliten. Hier existieren die Systeme SAR-Lupe und die französischen HELIOS-II-Satelliten, deren Ergebnisse in einem europäischen Verbund bereitgestellt und ausgetauscht werden.

bzw. die *Aufklärung im Einsatzgebiet* kommen in erster Linie HALE- und MALE-UAVs infrage. Dabei wird die Möglichkeit gesehen, durch zusätzliche Ausstattung beispielsweise die Fähigkeit zum schnellen Waffeneinsatz zu gewährleisten. Schließlich können kleinere, taktische UAVs vornehmlich des Heeres (z.B. MIKADO, ALADIN) situationsabhängig vor Ort eingesetzt werden, um gewonnene Aufklärungsergebnisse gezielt zu verifizieren bzw. das Lagebild *auf der taktischen Ebene* zu vervollständigen.

Robuste Militäreinsätze

Solche, auch weltweiten Einsätze verlangen, an größeren konventionellen Kampfhandlungen teilzunehmen. Hierbei wird sich das Aufgabenspektrum– zusätzlich zur Nachrichtengewinnung und Aufklärung – um den Einsatz von Wirkmitteln (z.B. Einsatz von Waffen gegen Ziele am Boden, aber auch gegen Störer) erweitern. Bei solchen Konflikten können HALE-UAVs aufgrund ihrer Reichweite und der langen Verweildauer im Einsatzgebiet für die Nachrichtengewinnung und Aufklärung von einigen wenigen Basen weltweit eingesetzt werden. Ein Verbringen in die Nähe von Konfliktorten ist nicht notwendig. Für die taktische Vor-Ort-Überwachung können insbesondere MALE-UAVs eingesetzt werden. Diese müssen dazu aber in das Einsatzgebiet oder in dessen Nähe verlegt werden. Bei robusten Militäreinsätzen wird daran gedacht, dass solche Systeme eine Bewaffnung erhalten, um aufgeklärte Bodenziele (perspektivisch auch Ziele in der Luft) direkt zu bekämpfen. Wie bei anderen Streitkräften auch ist in Szenarien mit hohem Gefährdungspotenzial die Unterdrückung der gegnerischen Luftabwehr eine hochpriorisierte Option.

Vor dem Hintergrund dieser generellen Missionsbeschreibungen lassen sich die weitere Aufgaben für UAVs benennen.

FÜHRUNGSFÄHIGKEIT

- Kommunikation: Hierbei soll das UAV zur Vergrößerung der Reichweite terrestrischer Übertragungssysteme als Relaisknoten wirken. Dabei können zwei Ziele verfolgt werden:
  - Erhöhung vorhandener Kapazitäten: Das UAV soll Daten zwischen den einzelnen Einheiten transferieren. Hierbei ermöglicht die hohe Beweglichkeit eine erhöhte Flexibilität.
  - Bereitstellung zusätzlicher Kapazitäten: Mithilfe von UAVs können regionale Kommunikationsnetze errichtet werden. UAVs können hierbei als schwer zu entdeckender Relaisknoten genutzt werden
- Unterstützung der Navigation: Navigation kann behindert oder gestört werden. Insbesondere schwieriges Gelände wie urbane Strukturen, Tunnel oder enge Schluchten können Probleme bereiten. Alternativ zu satellitengestützten Verfahren wie GPS könnten UAVs Positionssignale senden, welche auch in einer komplexen Umgebung die Abdeckung des Raumes ermöglichen. Zum

Schutz vor Störungen können mehrere UAVs ein Netzwerk bilden und so störunanfällige Signale aussenden.

AUFKLÄRUNG

- Durch die Fähigkeit, Daten in Echtzeit zu sammeln und bereitzustellen, können UAVs zur Wirkungsanalyse und Bewertung der Effektivität eingesetzter Wirkmittel beitragen.
- UAVs sollen in urbanem Gelände Informationen über die Lage sammeln. Dabei soll vor allem eine präzise Identifikation (Freund, Feind, neutral) ermöglicht werden. Großräumige Lageinformationen können als Grundlage zur Verifizierung von Informationen durch Mini- und Mikro-UAVs dienen, die gezielt auch das Innere von Gebäuden untersuchen.
- UAVs sollen zur Früherkennung und -warnung dienen. So können sie bei der Identifizierung unbekannter Flugzeuge helfen, sie könnten aber auch zur frühzeitigen Erfassung möglicher Angriffe mit taktischen, ballistischen Waffen beitragen.
- Für die Überwachung und Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes, kann durch die Nutzung von mehreren UAVs ein Sensornetzwerk aufgebaut werden, welches eine erhöhte Aufklärungsleistung insbesondere bezüglich der Einschätzung von Gefahrenlage und Bedrohung ermöglicht. Angedacht ist auch die Möglichkeit, durch Bestückung der UAVs mit geeigneten Sensoren, getarnte Flugzeuge (Stealth-Technologie) aufspüren zu können.
- UAVs sammeln Wetter- und Umweltdaten für verschiedenste Zwecke.

WIRKSAMKEIT IM EINSATZ

- Aufgaben, bei denen das UAV mittel- bis langfristig durch eine Bewaffnung eine offensive Rolle übernimmt, sind angedacht. UAVs können in gefährlichen Einsätzen einen Beitrag zur Herstellung bzw. zum Erhalt einer günstigen Luftlage durch Wirken gegen das gegnerische Luftkriegspotenzial *am Boden* leisten. Mögliche Ziele sind z.B. gegnerische Flugplätze mit ihren Einrichtungen und dort stationierten Luftkriegsmitteln. Hierbei soll das UAV durchsetzungs- und überlebensfähig und somit mehrfach einsetzbar sein.
- Bei der Bekämpfung von Zielen *in der Luft* werden UAVs auch langfristig nur in geringem Maße eingesetzt werden. Dies ist vor allem durch die Komplexität und die hohe Dynamik eines Luftkampfes begründet. Dennoch können UAVs, bedingt durch ihre bessere Manövrierfähigkeit, einen Vorteil, z.B. als Eskorte oder Sensorunterstützung, bieten. Ein Einsatz wird am ehesten komplementär zu bemannten Luftfahrzeugen erfolgen.
- Im Bereich maritimer Operationen können UAVs Seewege überwachen und dabei einen großen Raum abdecken. Die Bekämpfung von *Über- und Unterwassereinheiten* aus der Luft ist eine Aufgabe unter hoher Bedrohung. Hier können UCAS zur Seekriegsführung aus der Luft eingesetzt werden.

› Durch die Verbindung von kontinuierlicher Aufklärungsfähigkeit und permanenter Wirkfähigkeit können plötzlich und nur kurzzeitig auftauchende, hochpriorisierte Ziele, auch in unmittelbarer Nähe zu eigenen Kräften, bekämpft werden (»permanent engagement capability«).

Der Einsatz von UAVs als Plattform für den Einsatz von Wirkmitteln hat in den meisten Einsatzszenarien das Ziel, gegnerische Aktionen zu verhindern oder den Gegner durch eine kontinuierliche Fähigkeit zum Wirken davon abzuhalten, überhaupt aktiv zu werden. Es wird aber auch erwartet, dass mögliche Gegner ebenfalls UAVs einsetzen werden. Hier kommt eigenen Systemen die Aufgabe zu, durch kontinuierliche Überwachung und Aufklärung solche Aktivitäten frühzeitig zu erkennen, gegnerische UAVs ausfindig zu machen und sie gegebenenfalls zu bekämpfen (FGAN-FKIE 2008, S. 66).

FÄHIGKEITEN UND SYSTEME 5.3

Die Fähigkeiten zur luftgestützten, abstands- und allwetterfähigen Überwachung sollen künftig vor allem durch unbemannte, in mittleren und großen Höhen operierende UAVs sichergestellt werden. Aufgrund ihrer Abstandsfähigkeit, der Verweildauer und der Reichweite erwartet man verbesserte Fähigkeiten im Bereich der Nachrichtengewinnung und Aufklärung – insbesondere als Grundlage für die Operationen der Landstreitkräfte (zum Folgenden FGAN-FKIE 2008, S. 66 ff.).

Bis 2010 wurde die weiträumige Überwachung und Aufklärung noch mit dem Aufklärungssystem Breguet Atlantic in der Variante *signalerfassende Aufklärung* (SIGINT) durchgeführt. Durch deren nicht mehr zeitgemäße Technik, waren Defizite erkennbar wie

› zu geringe Verweildauer im Aufklärungsgebiet,
› eingeschränkte und z. T. veraltete Sensorik,
› unzureichende Verlegefähigkeit,
› begrenzte Fähigkeit zur echtzeitnahen Übermittlung der Aufklärungsergebnisse.

Die durch die Ausphasung der BR 1150 SIGINT entstandene Lücke wird durch Beschaffung des unbemannten luftgestützten Aufklärungssystems Euro Hawk geschlossen. Als Weiterentwicklung des amerikanischen Global Hawk (USRQ-4B Global) wird die eigentliche Plattform (das Flugzeug, mit allen Steuerungs- und Kontrollmechanismen) übernommen. Erweitert und neu konzipiert werden die Sensoren. Diese sollen in einem nationalen Projekt (Euro Hawk SIGINT) realisiert werden.

Im Segment der weitreichenden abbildenden Aufklärung beteiligt sich Deutschland am Aufbau einer Kernfähigkeit des NATO Alliance Ground Surveillance Systems (AGS Core). Zusätzliche nationale Fähigkeiten sind perspektivisch vorgesehen. Langfristig ist aus Sicht der Luftwaffe ins Auge zu fassen, dass nach der Ausphasung Tornado (2025) für die umfassende abbildende Aufklärung eine weitere Plattform notwendig ist.

Die Einführung eines so neuartigen Systems wie des Euro Hawk erfordert die erfolgreiche Bewältigung einer Vielzahl weiterer Herausforderungen, um die Fähigkeiten des Systems optimal nutzen zu können: So muss aufgrund der Reichweite von über 20.000 km der Datenaustausch mit der Auswerte- und Steuereinheit in Deutschland über robuste breitbandige Satellitenkommunikationsverbindungen erfolgen. Hier werden praktikable Lösungen zu finden sein, da trotz der mittlerweile realisierten Fähigkeiten von SATCOM Bw Stufe 2 weiterer Bedarf absehbar ist. Dieser muss – z. B. durch Anmietung kommerzieller Satellitenkapazitäten oder bundeseigenen Nutzlasten auf zivilen Satelliten – gedeckt werden. Überhaupt wird im Blick auf den Einsatz von UAVs der eigenen Nutzung des Weltraums eine besondere Bedeutung zugeschrieben.

Im Bereich der Flugbetriebsverfahren wird Neuland betreten; auch beim Personal gibt es zahlreiche Herausforderungen zu lösen (neue Tätigkeitsbereiche, Ausbildungsgänge zum UAV-Führer).

Das System TORNADO RECCE erfüllte bislang die Aufgabe *der abbildenden penetrierenden Aufklärung* im Einsatzgebiet. Sensorik und Luftfahrzeug wiesen allerdings seit längerem erhebliche Defizite auf wie:

- geringe Stehzeit im Einsatzgebiet,
- Gefährdung der Besatzungen,
- unzureichende und veraltete Sensorik,
- geringe Abstandsfähigkeit,
- fehlende echtzeitnahe Übertragung der Aufklärungsergebnisse,
- hoher logistischer Aufwand.

Beabsichtigt war deshalb, die Fähigkeitsdefiziten der echtzeitnahen abbildenden Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebietes durch ein MALE-UAV zu beheben. Das System war ab 2010 als Anfangsausstattung »zur streitkräftegemeinsamen Lageaufklärung und Überwachung sowie zur Ziel- und Wirkungsaufklärung« vorgesehen (BMVg 2007, S. 31; BMVG 2008, Anlage 4). Mit dem System Heron 1 ist zunächst eine Zwischenlösung realisiert worden (Kap. II.3.1.1).

Für die Inbetriebnahme der Anfangsausstattung ist an 2013 gedacht. Hierfür wird das System nicht als geeignet erachtet. Nach Aussagen des Generalinspekteurs der Luftwaffe werden zwei »Handlungslinien« verfolgt: erstens, die Beschaffung eines »marktverfügbaren Systems mit stufenweisen Fähigkeitsaufwuchs«, zwei-

tens die Beschaffung einer »europäischen Lösung auf der Basis eines Advanced-UAV (A-UAV) mit einer Überbrückungslösung bis zur Einsatzbereitschaft des A-UAV« (Luftwaffe 2010, S. 14). Schließlich wird die Beschaffung eines mehrrollenfähigen unbemannten bewaffneten Systems in Erwägung gezogen. Entsprechende Studien sind bereits durchgeführt worden.

Langfristig und basierend auf weiteren technologischen Fortschritten sieht die Luftwaffe eine kontinuierliche Fähigkeitsausweitung von UAVs vor, die u. a. Lufttransport und Luftbetankung, Bekämpfung feindlicher sowie Schutz und Frühwarnung eigener UAVs einschließt. Angedacht ist auch der Einsatz hochfliegender Luftschiffe als Relais- und Sensorplattform (Ergänzung SATCOM, Frühwarnung).

Die Vision der Luftwaffe zu UAVs ist insgesamt geprägt von einer sukzessiven Integration unbemannter Systeme und einer kontinuierlichen Ausdifferenzierung ihrer Rollen für unterschiedliche Lagen und Einsatzformen. Die damit angezielte Verbesserung der eigenen Fähigkeiten soll mittelbar auch dazu beitragen, dass die Streitkräfte künftige Einsatzszenarien besser meistern können.

Als ein erstes Fazit zu den Ausführungen in diesem Kapitel III kann Folgendes festgehalten werden: Die bisherigen Prozesse der Integration von UMS in die Streitkräfte, die begleitenden konzeptionellen Überlegungen sowie die Definition von Fähigkeitsforderungen sind geprägt gewesen von übergreifenden Prozess der Transformation der Bundeswehr sowie dem veränderten Bedarf an wehrtechnischen Systemen, der sich aus den Einsatzerfahrungen der letzten Jahre im Rahmen internationaler Einsätze ergeben hat.

Planungs- und Entscheidungsprozesse sind durch die Teilstreitkräfte sowie die Streitkräftebasis gründlich vorbereitet und begleitet worden. Teilweise konnte aber der Eindruck entstehen, dass die Entwicklungen eher ad hoc und auch durch sektorale und kurzfristige Perspektiven geprägt waren. Aufgrund der Vielzahl der beteiligten Akteure, die auf die Genese wehrtechnischer Systeme Einfluss nehmen sowie begrenzter finanzieller Spielräume, ist dies nachvollziehbar. Gleichwohl sollten bereits erkennbare Überlegungen intensiviert werden, die UMS in den Kontext streitkräfte- und bündnisgemeinsamer Konzepte stellen. Entsprechende Ansätze sollten mittelfristig angelegt sein und sowohl die technischen und beschaffungsspezifischen Dimensionen als auch die Definition und Begründung von Einsatzszenarien und Fähigkeitsforderungen bezüglich multinationaler Operationen einschließen. Unumgänglich erscheint zudem eine offenere Diskussion der angestrebten Entwicklungen und Nutzung von unbemannten Systemen als Waffenträger.

TECHNOLOGIEN UND SYSTEME IV.

Technologische Fortschritte in bestimmten Schlüsselfeldern (z. B. Leichtbaumaterialien, Energiespeicher, Kommunikationstechnik, Sensoren) lassen sich oftmals direkt übersetzen in verbesserte Fähigkeiten von UMS. Diese eröffnen erweiterte Möglichkeiten für die militärische Nutzung (schnellere Fortbewegung, größere Ausdauer, höhere Manövrierbarkeit). Durch die stetige Fortentwicklung in den einzelnen Technologiefeldern und durch Synergien beim Zusammenspiel der in den UMS eingesetzten Technologien hat sich deren Leistungsfähigkeit in den vergangenen Jahren mit beeindruckendem Tempo entwickelt.

In diesem Kapitel wird zunächst ein Überblick zu den Technologien und Technologiefeldern gegeben, die für den Stand und die weiteren Entwicklungsperspektiven relevant sind (Kap. IV.1 u 2). Danach folgt der Versuch eines Blicks in die Zukunft. Dazu wird anhand ausgewählter, typisierter Systeme veranschaulicht, welche Technologien welchen Entwicklungsstand erreicht haben müssen, um spezifische Missionen, wie Aufklärung in Innenräumen oder Überwachung eines Feldlagers, mit einem hohen Grad an Autonomie durchzuführen (Kap. IV.3).

TECHNOLOGIEN 1.

Die Technologien unbemannter Systeme lassen sich einteilen in »Basistechnologien« und »missionsspezifische Technologien«. Zu den Basistechnologien zählen solche, die erforderlich sind, um das Gerät an sich zu bauen und seine Beweglichkeit sowie ein Spektrum elementarer Aktionen (z. B. Orientierung im Raum, Umgehen von Hindernissen bis hin zu Manövern zur Selbsterhaltung) zu ermöglichen. Neben der Struktur und der Art der Fortbewegung (z. B. Fahren, Schreiten, Schlängeln) mit den entsprechenden Konstruktionsmerkmalen gehören dazu das Antriebssystem, die Energieversorgung, Leitsysteme und Navigationseinrichtungen.

Zur Erfüllung der vorgesehenen Missionen müssen weitere Technologien in das System integriert werden, vor allem Nutzlasten wie Sensoren und Wirkmittel, aber auch Einrichtungen zur Datenübertragung/Kommunikation sowie Planungssysteme, die einen gewissen Grad von Autonomie des Systems bei der Missionsdurchführung gestatten (außer bei vollständig ferngelenkten Systemen).

Darüber hinaus werden im Folgenden auch Querschnittstechnologien betrachtet, die die Leistungsfähigkeit der Geräte entscheidend mit beeinflussen, z. B. die Materialwissenschaften, die neue spezialisierte Materialien zur Verfügung stellen,

die Nanotechnologie, die in Verbindung mit der Mikrosystemtechnik Beiträge zur Miniaturisierung von Plattformen und Sensoren leistet oder Informationstechnik und Elektronik, durch die Speicherkapazität und Rechner-/Rechengeschwindigkeiten signifikant erhöht werden. Dieses Kapitel stützt sich wesentlich auf die vom TAB eingeholten Gutachten von DFKI/RDE (2008) sowie Altmann et al. (2008).

ANTRIEB UND ENERGIEVERSORGUNG 1.1

Für die Fortbewegung eines UMS ist das Medium, in dem es operieren soll, also in der Luft, zu Lande oder auf dem bzw. unter Wasser, der wichtigste bestimmende Faktor. Eng an die Fortbewegungsweise sind die Fragen gekoppelt, mit welcher Energie das Fahrzeug angetrieben wird, wie sie an Bord gespeichert wird und welche Umwandlungsprozesse dabei eingesetzt werden. Energiespeicher und -wandler sind Schlüsseltechnologien, bei denen Fortschritte Qualitätssprünge bei den Fähigkeiten von UMS, wie Einsatzdauer und Geschwindigkeit, aber auch Nutzlastkapazität auslösen und somit die Missionsvielfalt erhöhen können.

In den letzten Jahren gibt es einen deutlichen Trend zu elektrischen Antrieben. Vor allem bei kleinen bis mittleren UMS werden diese inzwischen flächendeckend eingesetzt. Bei großen Systemen kommen Hybridantriebe (Verbrennungsmotoren bzw. Turbinen kombiniert mit elektrischen Komponenten) verstärkt zur Anwendung. Ein erster Grund hierfür ist die ständig verbesserte Effizienz von Elektromotoren und Speichersystemen bei gleichzeitig fortschreitender Miniaturisierung. Ein weiterer Grund ist, dass Steuerungs- und Kommunikationseinrichtungen sowie die meisten Nutzlasten (z. B. Sensoren) ohnehin elektrisch betrieben werden und man daher ansonsten eine zusätzliche elektrische Versorgungseinheit (Generator, Akku und/oder Batterien) bereitstellen muss. Im Einsatz ermöglicht eine im Vergleich zu Verbrennungsmotoren bessere Energieeffizienz sowie eine höhere Reichweite. Durch ihre kleinere Signatur (Geräusch- und Wärmeabstrahlung) wird ihre Ortung durch potenzielle Kontrahenten erschwert (»silent mobility«, »silent watch«). Darüber hinaus könnten sie als mobile »Export-Power-Stationen« elektrische Energie für externe Anwender zur Verfügung stellen.

Eine Möglichkeit zur Energieversorgung mobiler Systeme, die mittel- bis langfristig an Bedeutung gewinnen könnte ist, elektrische Energie aus der Umgebungsenergie zu gewinnen. Dieses sogenannte »energy harvesting« wird zurzeit in der Forschung vor allem im Zusammenhang mit dem Konzept der allgegenwärtigen Durchdringung der Alltagswelt mit IuK-Technologien, dem sog. »Pervasive Computing«, diskutiert (Paradiso/Starner 2005). Prinzipiell lässt sich auch bei UMS eine Vielzahl unterschiedlicher natürlicher Energieträger (z. B. Sonneneinstrahlung, Wind, Strömung bzw. Wellenbewegung im Wasser, elektromagnetische Wellen, Schall) nutzen. Die meisten Methoden des »energy harvesting«

weisen bisher eine relativ geringe Effizienz auf und können deshalb oft nur als zusätzliche Energiequellen oder in der Mikrorobotik eingesetzt werden. Von praktischer Bedeutung ist bislang lediglich die Fotovoltaik, die z. B. bei einigen hochfliegenden UAVs oder unbemannten Überwasserfahrzeugen genutzt wird. Neue effizientere Energiewandler könnten »energy harvesting« für den Betrieb von UMS deutlich attraktiver machen (DFKI/RDE 2008, S. 60).

Die fortschreitende Miniaturisierung von hydraulischen und pneumatischen Anlagen (Mikrohydraulik und Mikropneumatik) sowie neuartige Antriebsprinzipien auf der Basis »künstlicher Muskeln«, u. a. mithilfe von Formgedächtnislegierungen, Piezomaterialien, elektroaktiven Kunststoffen und Nanomaterialien, eröffnen neue Anwendungsbereiche in der Aktorik und Fortbewegung mobiler Roboter.

LUFTFAHRZEUGE

In der Luft kann man zwischen Fahrzeugen, die den aerodynamischen Auftrieb nutzen (Starrflügler, Drehflügler), Leichter-als-Luft-Systemen (Luftschiffe) sowie ballistischen Flugkörpern (Raketen) unterscheiden. Hybride Systeme nutzen mehr als eines dieser Prinzipien.

Insbesondere Starrflügler sind bereits heute ein wichtiger Bestandteil im Arsenal der militärisch genutzten UMS. Sie können große Reichweiten und lange Einsatzzeiten erreichen, in verschiedenen Höhenlagen operieren, und große Nutzlasten transportieren. Drehflügler hingegen besitzen insbesondere im Bereich der Micro- und Mini-UAVs ein großes Potenzial.

Bei UAVs werden die großen und schnellen Typen mit Strahltriebwerken angetrieben, mit oder ohne Mantelstrom (Turbojet, Turbofan), in Zukunft ggf. auch mit Staustrahltriebwerken (Ramjet). Ansonsten werden hauptsächlich Luftschrauben (Propeller) eingesetzt. Mittlere und manche kleinen UAVs werden durch Verbrennungskolbenmotoren angetrieben, kleine und kleinste Modelle durchweg elektrisch. Durch immer kleinere und leichtere Antriebssysteme mit höherer Leistung werden neue Fluggeräte möglich, die hinsichtlich Beweglichkeit, Geschwindigkeit und Ausdauer den heutigen deutlich überlegen sind.

Bei fortgeschrittenen UAVs kommen die derzeit verfügbaren *Turbinen* an ihre Grenzen. So wird bei einigen UCAV-Konzepten eine Steigerung bei Missionsradius und Ausdauer um einen Faktor 2,5 bis 3, verglichen mit bemannten Flugzeugen, angestrebt. Dies stellt höchste Anforderungen an Turbinen vor allem in Bezug auf Treibstoffverbrauch, Schub und Gewicht, aber auch an das allgemein geforderte Ziel einer Kostenreduktion. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, sollen im Entwicklungsprogramm VAATE (»Versatile Affordable Advanced Turbine Engines«) bis 2017 neue Turbinen entwickelt werden, deren

»affordable capability«[31] um einen Faktor 10 gesteigert werden soll (AIAA 2006, S. 5, OSD 2005, S. D2-D3).[32]

Kolbenmotoren werden für UAVs bis etwa 1.000 kg eingesetzt. In dieser Größenklasse sind sie leichter und billiger als Turbinen. Jedoch können die existierenden luftfahrttauglichen Ottomotoren nicht mit dem schweren militärischen NATO-Einheitstreibstoff betrieben werden. Daher werden hierfür entweder leichtere Turbodieselmotoren entwickelt oder aber Benzinmotoren so angepasst, dass sie mit Düsentreibstoff (Kerosin) laufen können (OSD 2005, S. D3-D4). Beides ist technologisch anspruchsvoll.

In Mini- und Micro-UAVs werden in der Regel *Elektromotoren* zum Antrieb der Propeller verwendet, die aus (Lithium-)Batterien gespeist werden. In diesem Segment ist das Gewicht des Speichersystems der entscheidende Faktor für die mögliche Missionsdauer (bisher unter einer Stunde für Micro-UAVs, etwa zwei Stunden für Mini-UAVs). Die besten verfügbaren wiederaufladbaren Batterien (Lithiumschwefel) weisen eine Energiedichte von 350 Wh/kg auf (Sion Power 2007). Zum Vergleich: kommerzielle Lithium-Ionen-Akkus besitzen eine Energiedichte von bis zu 250 Wh/kg, Lithium-Einweg-Batterien kommen auf über 400 Wh/kg. Da dieses Feld auch kommerziell von hohem Interesse ist, wird hier sehr aktiv geforscht, sodass auch in Zukunft weitere Verbesserungen zu erwarten sind. Beispielsweise konnte im Labor gezeigt werden, dass Siliziumnanoröhren zusammen mit Lithium eine bis zu zehnfach höhere Ladung speichern können als existierende Lithium-Ionen-Akkus (Chan et al. 2008). Nanoröhren werden auch für sog. Ultrakondensatoren erforscht, die Ladung nicht elektrochemisch, sondern elektrostatisch speichern (Stauffer 2007). Entwicklungsziel ist eine Speicherkapazität ähnlich der von Lithium-Ionen-Akkus bei gleichzeitig extrem kurzen Ladezeiten und praktisch unbegrenzt vielen Lade-Entlade-Zyklen.

Weitere Verbesserungen werden von Brennstoffzellen erwartet, die dann auch für größere UAVs verwendet werden könnten. Auf dem zivilen Markt erhältlich sind zurzeit Polymer-Elektrolyt-Brennstoffzellen mit bis zu 600 Wh/kg (Horizon Energy Systems 2010). In der Entwicklung befinden sich Zellen mit mehr als 1.000 Wh/kg, die in Kürze verfügbar sein sollen.

Kombiniert man Hochleistungsakkus oder Brennstoffzellen für nachts mit Solarzellen, die tagsüber die Motoren treiben und die Akkus aufladen, bzw. elektrolytisch Wasserstoff erzeugen, lässt sich in großer Höhe eine zumindest im Prinzip

31 Verhältnis von technischer Fähigkeit (zusammengesetzt aus Schub, Gewicht, Verbrauch u. a.) zu Gesamtkosten (Entwicklung, Beschaffung und Wartung)

32 Im Einzelnen: 200 % verbessertes Schub-zu-Gewichtsverhältnis, 25 % geringerer Treibstoffverbrauch, 60 % geringere Gesamtkosten (Entwicklung, Beschaffung und Unterhalt) relativ zu einem »state of the art system« im Referenzjahr 2000.

unbegrenzte Flugdauer erreichen.[33] Ähnlich einem Satelliten könnte eine solche Plattform kostengünstig für Überwachung und/oder Kommunikation eingesetzt werden. Allerdings wären solche UAVs sehr empfindlich und langsam und könnten – im Gegensatz zu Satelliten – relativ leicht angegriffen werden.

Im Bereich der Leichter-als-Luft-Systeme befinden sich große (Länge 100 m und mehr), mit Solarenergie in Kombination mit Brennstoffzellen angetriebene, unbemannte Luftschiffe in der Entwicklung. Mittel- bis langfristig könnten solche Stratosphärenplattformen in sehr großen Höhen (ca. 20 km) operieren und eine großräumige Langzeitaufklärung als Ergänzung zur Satellitenbeobachtung bieten. Einen weiteren Effizienzsprung könnte es durch supraleitende Elektromotoren (s. u., »Wasserfahrzeuge«) geben, allerdings ist es noch unklar, ob bzw. wann diese in flugtauglicher Ausführung (klein, leicht, zuverlässig) zur Verfügung stehen könnten (DoD 2007, S. 47).

Auch bei vermeintlich simplen Komponenten, wie Propellern für Mini- und Micro-UAVs ist kurz- bis mittelfristig noch ein erhebliches Entwicklungspotenzial vorhanden, denn hocheffiziente miniaturisierte Propeller können nicht einfach durch verkleinerten Nachbau von Propellern großer Verkehrsflugzeuge, sondern nur durch gründliche Untersuchung und Optimierung hinsichtlich der speziellen Strömungsverhältnisse und Einsatzbereiche entworfen werden.

Neuartige bionische Ansätze, wie z.B. Schlagflügler (Michelson/Naqvi 2003; Michelson 2008), werden bisher nur vereinzelt eingesetzt, sind aber militärisch hochinteressant: UMS, die sich per Flügelschlag bewegen, sind aus der Entfernung von echten Vögeln kaum zu unterscheiden. Durch ihre Flugeigenschaften können Schlagflügler auch sehr effizient eingesetzt werden.

LANDFAHRZEUGE

Die herkömmlichen Ketten- bzw. Radantriebe von Landfahrzeugen werden kontinuierlich weiterentwickelt. Bereits kurzfristig können z. B. flexiblere Ketten- und Radsysteme, Radnabenmotoren, volladaptive Fahrwerke sowie mehrteilige Kettensysteme zu einer deutlichen Leistungssteigerung führen. Durch den Einsatz mehrerer Kettensegmente und adaptiver Fahrwerke können sich die Systeme beispielsweise flexibler der Geländeoberfläche anpassen und damit auch größere Hindernisse überwinden. Mittelfristig werden sich diese Ansätze zu hochflexiblen Kettensystemen weiterentwickeln.

Auch alternative, von biologischen Vorbildern inspirierte Antriebssysteme sind derzeit dabei, den Bereich der Grundlagenforschung zu verlassen. Der Vorteil

33 2010 stellte das UAV »Zephyr«, das mit Lithium-Schwefel-Akkus ausgerüstet ist, mit 14 Tagen und 21 Minuten Flugdauer einen Weltrekord auf (www.qinetiq.com/home/defence/defence_solutions/aerospace/unmanned_air_systems/uav.html; abgerufen am 6.1.2011).

von laufenden oder kriechenden Systemen ist ihre extrem hohe Robustheit in schwierigem Gelände.[34] Sehr vielversprechend und bereits kurz- bis mittelfristig verfügbar sind auch hybride Antriebe, die z. B. die Vorteile von Rädern mit denen von Beinen kombinieren (z. B. Eich et al. 2008).

Bei Landfahrzeugen stammt die Energie derzeit in der Regel aus konventionellen Verbrennungsmotoren, kleinere Typen werden elektrisch betrieben. Ein reiner Elektroantrieb auch für größere Landfahrzeuge setzt weitere Entwicklungsfortschritte bei Speichern und Motoren voraus. Hybridantriebe, die im zivilen Pkw-Bereich zunehmend an Bedeutung gewinnen, sind auch für den militärischen Einsatz attraktiv.

WASSERFAHRZEUGE

Fahrzeuge auf dem *Wasser* können in den klassischen Formen als Verdränger, als Gleiter (z. B. Tragflächenboot) oder als Mischform (Halbgleiter) konzipiert werden. Gleiter benötigen bei gegebener Geschwindigkeit wesentlich weniger Energie als Verdränger. Mehrrumpfboote (z. B. Katamarane) zeichnen sich durch eine hohe Stabilität bei strömungsgünstigen Eigenschaften aus.

Für Wasser- und Luftfahrzeuge gleichermaßen wichtig ist die Optimierung der Form und der Oberflächenbeschaffenheit der Strukturen. Beides hat eine Reduktion des Strömungswiderstandes und damit eine Verringerung des Energieverbrauchs zum Ziel. Durch die Anwendung neuer Materialien und leistungsfähigerer Strömungsmodelle werden sie sowohl hydrodynamisch (bzw. aerodynamisch) als auch gewichtsmäßig kontinuierlich weiterentwickelt und optimiert.

Da Tiere (Fische und Vögel) bei Geschwindigkeit, Manövrierfähigkeit oder Effizienz der Fortbewegung technischen Systemen in vielerlei Hinsicht überlegen sind, sind in Forschung und Entwicklung Ansätze aus der Bionik verbreitet anzutreffen (TAB 2006). Ein bekanntes Beispiel ist die Haifischhaut und deren technische Adaption (sog. »Riblets«), die gleichzeitig rau und strömungsmechanisch effizient ist. Problematisch bei der technischen Umsetzung dieser Prinzipien ist aber, dass solche Oberflächen extrem empfindlich auf Verletzungen und Verschmutzungen reagieren. Geforscht wird daher an der Entwicklung von selbstreinigenden und selbstreparierenden Oberflächen (Nachtigall 2002, S. 84 ff.).[35]

Eine deutliche Effizienzsteigerung ist bei konventionellen Ansätzen wie Schrauben und Lenksystemen zu beobachten. Kurzfristig sind effizientere Schrauben zu erwarten, die mittelfristig zu hydrodynamisch hochoptimierten Schraubensystemen

34 Ein Beispiel ist der »Big Dog« der Firma Boston Dynamics (www.bostondynamics.com/robot_bigdog.html; abgerufen am 9.12.2010).

35 Einen Eindruck aktueller Forschungsthemen vermitteln die Projekte unter dem Dach der Fördermaßnahmen »BIONA« im Rahmen der Hightech-Strategie der Bundesregierung (www.bionische-innovationen.de).

verbessert werden. Auch in diesem Feld kommen innovative Ansätze aus der Bionik, wo z. B. Flossen (oszillierendes) und schlangenähnliches (undulierendes) Schwimmen zur Fortbewegung im und unter Wasser eingesetzt werden (Ijspeert et al. 2007; Sitorus et al. 2009).

Ob sich eher exotisch anmutende Antriebsarten durchsetzen können, erscheint derzeit fraglich. Es existieren verschiedene Ansätze, wie z. B. der magnethydrodynamische Antrieb, mit dem seit den 1960er Jahren experimentiert wurde und der in den 1990er Jahren einen Prototypen angetrieben hat (Takezawa et al. 1995). Als klassisches Segel in neuem Gewande stellen sich Zugdrachen zur Unterstützung der Maschine und damit zur Energieeinsparung dar. Dies wird zurzeit in einer Pilotphase auf einigen Frachtschiffen praxiserprobt (Skysails 2009).

Bei Überwasserfahrzeugen (USV) oder Halbtauchern (mit zumindest zeitweiligem Zugang zu Luft) sind bislang Verbrennungsmotoren üblich, die in vielen Größenklassen und Ausführungen zur Verfügung stehen. An Elektroantrieben wird intensiv geforscht, so wurde beispielsweise kürzlich der erste Prototyp eines supraleitenden großen Schiffsmotors mit 36,5 MW Leistung erfolgreich getestet (Business Wire 2009).

Für UUVs, die bei Unterwasserfahrten keine Luftzufuhr haben, gibt es im Wesentlichen drei Möglichkeiten zur Energieversorgung. Für kleinere UUVs sind Batterien bzw. Akkumulatoren geeignet. Die üblichen Lithiumbatterien haben zwar eine etwa doppelt so hohe Energiedichte wie wiederaufladbare Lithium-Ionen-Akkus, führen aber zu hohen Betriebskosten und – v. a. bei größeren Einheiten – zu einem relativ hohen logistischen Aufwand. Für größere UUVs ist ein hybrider Antrieb (mit über 800 kWh) bestehend aus Dieselmotor und Lithium-Ionen-Akkus besser geeignet. Allerdings muss dann der Dieselmotor regelmäßig laufen und das UUV hierfür auftauchen bzw. schnorcheln (z. B. nach je 80 Stunden Unterwasserbetrieb vier Stunden). Die dritte Möglichkeit sind Brennstoffzellen. Die Wasserstoff-Sauerstoff-Brennstoffzelle kommt ohne Luftzufuhr aus, ist jedoch noch nicht vollständig ausgereift und hat mit 300 kWh eine relativ geringe Energiedichte.

Das bedeutet, dass ein typisches großes UUV mit 1,2 m Durchmesser und 5 Knoten (9 km/h) Geschwindigkeit mit Brennstoffzelle eine Ausdauer von etwa 220 Stunden besitzt (entspricht einer Reichweite von 1.980 km), mit Hybridantrieb (mit sechsmaligem Schnorcheln) 480 Stunden (entspricht 4.400 km) (DoN 2004, S. 62). Den (inoffiziellen) Reichweitenrekord für ein nichtnuklear angetriebenes Unterwasserfahrzeug hält derzeit ein mit Brennstoffzellen angetriebenes U-Boot (Klasse 212A) der deutschen Marine. Er wurde auf einer zweiwöchigen ununterbrochenen Tauchfahrt von Eckernförde nach Südspanien aufgestellt (Marine 2006).

Für kleine UUVs, die an der Oberfläche als Kommunikationsknoten oder sekundäre Navigationssender fungieren, kommen auch Solarzellen (mit Akkumulatoren) infrage (DoN 2004, S. 45 ff.).

Im Unterwasserbereich ist das – zwar nicht neue aber dennoch revolutionäre[36] – Prinzip der sogenannten Superkavitation von hohem Interesse, da es erlaubt, Unterwasserfahrzeuge (z. B. Torpedos) mit sehr hohen Geschwindigkeiten zu bewegen. Der »Superkavitierende Unterwasserlaufkörper« (früher auch »Barracuda«) der Firma Diehl BGT Defence beispielsweise erreicht eine Unterwassergeschwindigkeit von über 400 km/h (Diehl 2009).[37] Da die Möglichkeiten zur Steuerung superkavitierender Fahrzeuge prinzipbedingt begrenzt sind, ist ihr mögliches Einsatzspektrum allerdings eingeschränkt.

LEITSYSTEME 1.2

Das Leitsystem eines UMS steuert »primitive« Funktionen vereinfachend vergleichbar dem Rückenmark und dem Kleinhirn des Menschen. Im Prinzip werden dort einfache Steuerbefehle zur Mobilität und Selbsterhaltung des Systems ohne unmittelbare Beteiligung höherer Entscheidungsebenen umgesetzt. Dieser Bereich ist ein Kerngebiet der Forschung und Entwicklung bei künstlicher Intelligenz (KI) in der Robotik. Es besteht eine enge Wechselwirkung zwischen dem Leitsystem und den oben behandelten Gebieten Konstruktionsprinzip, Antriebssystem und Energieversorgung.

Bei der Implementierung von Leitsystemen können zwei prinzipielle Ansätze unterschieden werden: die verhaltensbasiert-reaktive Regelung sowie die modellbasierte Regelung (DFKI/RDE 2008, S. 62).

- *Verhaltensbasiert-reaktive* Systeme reagieren auf Sensorsignale durch festgelegte Regeln mit Aktionen. Trotz ihres oft einfachen Aufbaus sind solche Systeme in der Lage, ein scheinbar intelligentes Verhalten zu entwickeln. Sie besitzen kurzfristig das größte Potenzial für den Bereich unbemannter Systeme, da sie auch als Assistenzsysteme bei ferngelenkten Robotern eingesetzt werden können, um hier den menschlichen Operator zu unterstützen.
- *Modellbasierte* Leitsysteme basieren auf einem formalen Modell des Systems und seiner Umgebung. Ihre Leistungsfähigkeit ist direkt abhängig von dessen Qualität. Es ist eine große und bislang ungelöste Herausforderung, die natür-

36 Bereits in den 1970er Jahren stand der Marine der damaligen Sowjetunion ein superkavitierendes Torpedo zur Verfügung (sog. »Schkwal«).

37 Auch in den USA wird an superkavitierenden Projektilen gearbeitet: Das Mk 258 Mod 1 »Armor-Piercing Fin Stabilized Discarding Sabot-Tracer« (APFSDS-T) soll im Rahmen des »Rapid Airborne Mine Clearance System« (RAMICS) von der Luft aus einsetzbar sein und sich im Wasser mittels Superkavitation fortbewegen (www.as.northropgrumman.com/product/ramics/assets/ RAMICS_Fact_Sheet.pdf).

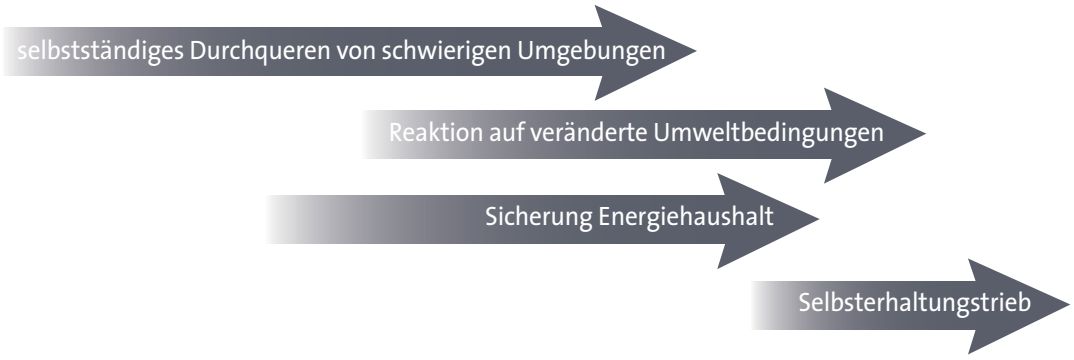
liche Umgebung in ihrer Komplexität und Veränderbarkeit hinreichend gut in einem Modell abzubilden. Daher eignen sich modellbasierte Ansätze bisher nur für Systeme, die lediglich über rudimentäre Funktionen zur eigenen Entscheidungsfindung verfügen. Dies ist einer der limitierenden Faktoren für einen höheren Autonomiegrad von UMS.

› *Hybride Systeme* zielen darauf, die Robustheit von reaktiven Systemen mit der Voraussicht von modellbasierten Ansätzen zu verbinden. Die aktuelle Forschung konzentriert sich primär auf diese Ansätze, da sie für einen Transfer in die praktische Anwendung am aussichtsreichsten sind.

Bei Leitsystemen wird die weitere Entwicklung vor allem durch Leistungssteigerungen bei elektronischen Komponenten sowie durch Fortschritte in der KI-Forschung angetrieben. Eine robuste Hindernisvermeidung ist bereits weitgehend realisiert, das selbstständige Durchqueren schwieriger Umgebungen wird derzeit praktisch erprobt.[38] Mittelfristig erwartet werden Leitsysteme zur Sicherung des Energiehaushalts und für eine autonome Reaktion des Systems auf sich verändernde Umweltbedingungen. Die langfristige und grundsätzliche Zielsetzung dieser Entwicklung ist die Befähigung des Systems zu einem eigenständigen Selbsterhaltungstrieb.

Ein wesentlicher Treiber der Entwicklung im Bereich Leitsysteme sind Fahrerassistenzsysteme für Automobile und Fly-by-Wire-Technologien für Flugzeuge. Da hier ein großes kommerzielles Interesse besteht, werden solche Systeme mit hohem Ressourceneinsatz weiterentwickelt und optimiert. Beispiele für den derzeitigen Stand der Technik sind Bremsassistenten oder Systeme zum automatischen Spurhalten. Auch ein System, das vollautomatisch einen Pkw in eine Parklücke manövriert, wurde bereits in einem Prototyp vorgestellt (heise online 2008a).

ABB. 22 **LEITSYSTEME: MITTEL- BIS LANGFRISTIGE ENTWICKLUNGEN**



Quelle: DFKI/RD 2009, S. 63

38 Das aktuell Machbare wird regelmäßig auf den sog. »European Land Robot Trials« (ELROB) präsentiert (Kap. II.3.1) bzw. im Rahmen der Veranstaltung »DARPA Grand Challenge« www.darpa.mil/grandchallenge/index.asp; (9.12.2010).

NAVIGATION 1.3

Navigation hat die Grundaufgaben, die eigene Position zu ermitteln, den Weg zu einem Ziel zu bestimmen und das Fahrzeug auf diesem Weg zu führen. Im Zusammenspiel mit Planungssystemen (s. u.) soll diese Aufgabe auch z. B. bei auftretenden Störungen oder Hindernissen erfüllt werden. Zur Bestimmung seiner Position kann ein mobiles System auf externe Sensoren (extrinsische Positionsbestimmung) und auf interne Sensoren (intrinsische Positionsbestimmung) zurückgreifen. UMS mit freier Sicht auf den Himmel können das Global Positioning System (GPS) von Navigationssatelliten der USA nutzen (künftig auch das europäische System Galileo). Mittels Referenzsendern, deren Position genau bekannt ist, können Abweichungen nochmals deutlich verkleinert werden und betragen dann nur noch wenige Zentimeter (differentielles GPS).

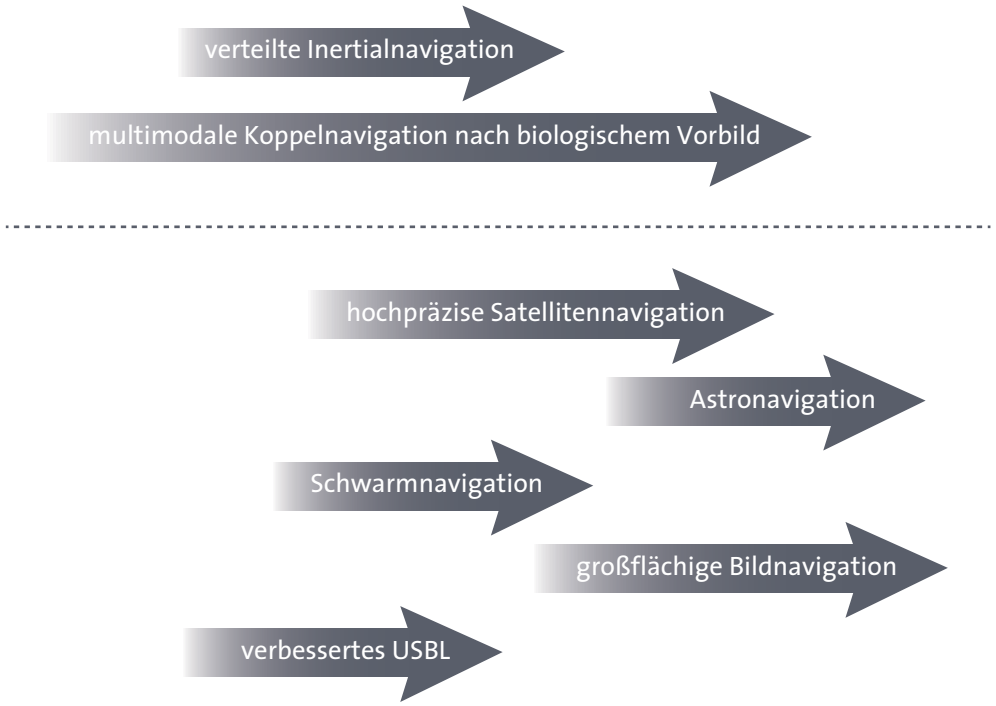
Unter Wasser werden verschiedene akustische Ortungsmethoden eingesetzt, die auf der Laufzeitmessung von akustischen Signalen zu im bzw. auf dem Wasser platzierten Baken oder Bojen beruhen (»Long Baseline«, LBL, »Short Baseline«, SBL und »Ultra Short Baseline«, USBL). Aktuell wird an Systemen geforscht, die es ermöglichen, ein GPS-Signal auch unter Wasser verfügbar zu machen (Green/Scussel 2007). UMS können auch selbst als Navigationsbaken dienen. Unter und über Wasser können Klein-UUVs verwendet werden, die nach dem Absetzen (vom Schiff, vom Flugzeug) zur festgelegten Zeit einige Stunden lang arbeiten (DoN 2004, S. 44).

Da GPS-Signale für manche Anwendungen zu unpräzise sind bzw. nicht überall zur Verfügung stehen (z. B. in bebautem Gebiet), werden auch lokale Methoden der Selbstlokalisation eingesetzt, v. a. die Erkennung von Landmarken durch optische Sensoren, das sog. »scene matching«, des Höhenprofils unter der Flugbahn (bzw. unter Wasser das Tiefenprofil) (»terrain contour matching«) und die Detektion des Erdmagnetfelds.

Diese werden oft mit intrinsischen Methoden kombiniert. Eine vollständig interne Methode ist Trägheitsnavigation, bei der aus der während der Bewegung gemessenen Beschleunigung der zurückgelegte Weg und damit der eigene Standort bestimmt werden können. Bei Radfahrzeugen kann die zurückgelegte Entfernung anhand der erfolgten Radumdrehungen abgeschätzt werden. Andere Ansätze nutzen die auf mobilen Systemen meist vorhandene Kamera, um in einer lokalen Bildnavigation aus dem durch die Eigenbewegung des Systems entstehenden Bilddatenstrom Rückschlüsse auf die Umgebung und zurückgelegte Distanz zu erhalten (»Structure From Motion«, SFM). Gängig ist auch die Methode, basierend auf Sensordaten eine interne Karte zu erstellen (»Simultaneous Localization and Mapping«, SLAM) (DFKI/RDE 2008, S. 65).

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. Für die Navigation von autonomen UGVs müssen Wahrnehmung, Wegplanung, Kommunikation und verschiedene Navigationstechniken integriert werden. Diese Integrationsaufgabe bezeichnet die zurzeit größte Technologielücke bei der UGV-Navigation (NRC 2002a, S. 54).

ABB. 23 NAVIGATION: MITTEL- UND LANGFRISTIGE ENTWICKLUNGEN



Quelle: DFKI/RD 2009, S. 66

PLANUNGSSYSTEME 1.4

Softwaregestützte Planungssysteme sind an der Erarbeitung eines Missionsplanes, der Durchführung einer Mission (inklusive Reaktion auf Änderungen) und der Navigation (Abfahren der Missionsroute) beteiligt. Die Funktionalität der Planungssysteme hängt direkt mit dem Autonomiegrad des jeweiligen mobilen Systems zusammen (s. u.). Planungssysteme sind ein Kernthema der Forschung im Bereich der Künstlichen Intelligenz (KI).

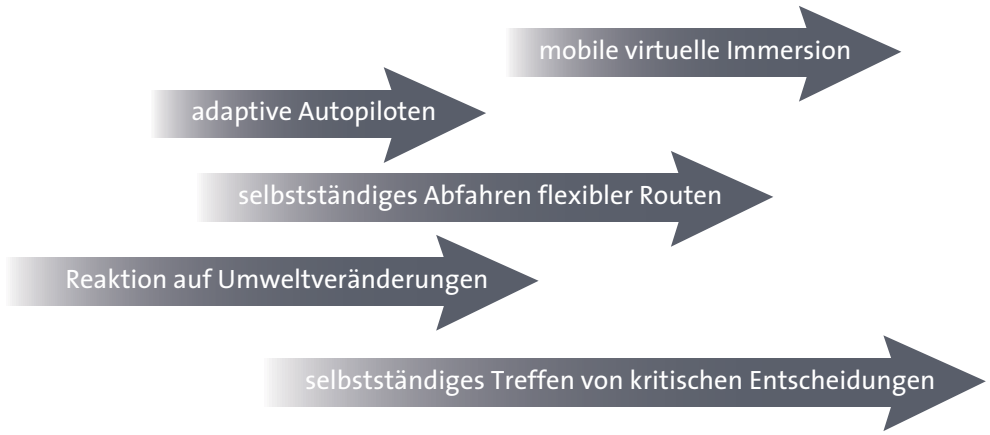
› Bei *ferngesteuerten* Systemen dient das Planungssystem hauptsächlich als Hilfe für den (menschlichen) Bediener. Neue Technologien wie die sog. virtuelle Immersion, mit der sich der Bediener sozusagen in die virtuelle Welt des Roboters hineinversetzen kann (Albiez et al. 2006), werden hier mittel- bis lang-

fristig eine deutliche Effizienzsteigerung und Vereinfachung der Steuerung bewirken.

- Bei *semiautonomen* Systemen übernimmt das Planungssystem die Funktion eines Autopiloten, der das System zwar steuert, jederzeit aber vom Operator beeinflusst bzw. beendet werden kann. Während kurzfristig eine intelligente, an die Situation angepasste Visualisierung der Statusinformationen möglich ist, kann mittelfristig mit Autopiloten gerechnet werden, die sich an die jeweiligen Verhältnisse adaptieren.
- Bei *autonomen* Systemen übernimmt das Planungssystem völlig selbstständig die Durchführung der Mission und agiert unabhängig von menschlichen Operatoren. Beim heute erreichten Entwicklungsstadium erlauben solche Systeme ein selbstständiges Abfahren festgelegter Routen und die automatische Rückkehr zum Ausgangspunkt einer Mission. Dabei kann derzeit nur bedingt auf veränderte Umweltbedingungen reagiert werden. Mittelfristig werden auch flexible Routen abgefahren werden können. Die für eine echte Autonomie notwendigen Fähigkeiten, wie beispielsweise das selbstständige Treffen missionskritischer Entscheidungen, werden aber erst langfristig für den praktischen Einsatz zu realisieren sein.

Mittel- bis langfristig sind innovative Planungssysteme zu erwarten, die mehrere, möglicherweise unterschiedlich aufgebaute und mit unterschiedlichen Fähigkeiten ausgestattete Roboter zu einem Team oder einem Schwarm vereinen. Dadurch könnte sich die Fähigkeit autonomer Systeme, auch in schwierigem und unbekanntem Gelände zu agieren, deutlich verbessern (DFKI/RDE 2008, S. 71). Dies ist zurzeit ein äußerst intensiv bearbeitetes Forschungsgebiet (z. B. Asama et al. 2009).

ABB. 24 PLANUNGSSYSTEME: MITTEL- BIS LANGFRISTIGE ENTWICKLUNGEN



Quelle: DFKI/RD 2009, S. 72

DATENÜBERTRAGUNG/KOMMUNIKATION 1.5

Für die Datenübertragung und Kommunikation zwischen UMS und dem Einsatzzentrum bzw. untereinander stehen sowohl kabelgebundene als auch kabellose Techniken zur Verfügung. Wegen der einfacheren Handhabung wird für die meisten Anwendungen kabellose (zumeist Funk-)Kommunikation bevorzugt. Kabel bieten jedoch deutliche Vorteile, was Übertragungsbandbreite und Latenz anbelangt. Sie sind z. B. für die Kommunikation unter Wasser unverzichtbar, da die nutzbaren Funkfrequenzen im Wasser stark gedämpft werden. Zudem sind kabellose Systeme von der Verfügbarkeit einer entsprechenden Kommunikationsinfrastruktur (Satelliten, Funknetzwerke) abhängig. Funkkommunikation ist besonders problematisch, wenn z. B. im Rahmen einer Aufklärungsmission die Entdeckung von Sender und Empfänger vermieden werden soll. Die Kommunikationsanforderungen können sinken, wenn UMS Sensordaten autonom auswerten und entsprechend reagieren können. Dies ist ein starkes Motiv, den Autonomiegrad unbemannter Systeme zu erhöhen.

Der technische Fortschritt bei Kommunikationssystemen wird derzeit vorwiegend durch innovative zivile Anwendungen vorangetrieben:

Bei den *kabelgebundenen* Systemen findet die Weiterentwicklung vor allem im Bereich der Glasfasertechnik und durch Miniaturisierung und Leistungsverbesserungen von Lasersystemen statt. Aus Sicht der mobilen Anwendungen sind auch neue Materialien (z. B. für dünne und hochflexible Glasfaserkabel) und Mechanismen (z. B. miniaturisierte Abrollsysteme) interessant, die mittel- bis langfristig zu einer deutlich verbesserten Nutzbarkeit führen werden.

Im Bereich der *kabellosen* Kommunikation werden neue Technologien und Standards die Geschwindigkeit der Datenübertragung in den Netzwerken der vierten Generation (4G Networks) mittelfristig drastisch erhöhen. Als kurzfristiges Technologieziel werden Übertragungsraten von 100 MBit/s (mobil) und 1 GBit/s (fest) angestrebt.[39] Einige Unternehmen haben bereits mit dem Aufbau einer entsprechenden Infrastruktur begonnen. Im nächsten Schritt sind dann 5 GBit/s angepeilt.[40] Dies würde die Übertragung eines Spielfilms in HD-Qualität in etwa einer Minute ermöglichen (Razavi 2008).

Hohe Übertragungsbandbreiten sind vor allem für Aufklärungsmissionen mit einer Vielzahl leistungsfähiger Sensoren von UMS essenziell.[41] Wenn z. B. multispektrale Bilder mit großem Gesichtsfeld und hoher Auflösung oder der volle

39 z. B. unter der Familie von Standards »WiMax«, genauer IEEE 802.16m
40 IEEE Working Group 802.15.3c
41 Augenblicklich soll die Datenrate eines Global Hawks bereits bis zu 50 Mbps betragen; erwartet wird ein kontinuierlicher Zuwachs in den nächsten Jahren.

Phasenverlauf des Radars verzugslos bereitgestellt werden sollen, stoßen die gegenwärtig verfügbaren Kapazitäten an ihre Grenzen.[42]

UNTERWASSERKOMMUNIKATION

Da elektromagnetische Wellen im Wasser extrem stark gedämpft werden, ist Kommunikation über Funk praktisch unmöglich. Daher werden im Nahbereich vor allem abspulende (Lichtfaser-)Kabel verwendet. Das Hauptübertragungsmedium kabelloser Kommunikation im Wasser ist der Schall. Modems zur Übertragung von Ultraschallsignalen an Unterwassersysteme sind seit mehreren Jahren auf dem Markt. Allerdings ist aufgrund von Reflektionen am Boden und an Wasserschichten ihr Einsatz stark eingeschränkt. Gegenwärtig sind Übertragungsraten von nicht mehr als 32 kBit/s verfügbar. Durch den Einsatz von verbesserten Kodierungsmethoden und durch die Verwendung von Methoden aus der Natur (z. B. den von Delphinen inspirierten sog. »Tschirps«) kann mittel- bis langfristig mit einer Datenrate von deutlich über 10 MBit/s gerechnet werden (DFKI/RDE 2008, S. 68). Langfristig plant die US Marine, diese Beschränkungen durch die Einbindung von UUVs als Unterwasserkommunikationsknoten in das FORCEnet der U.S. Navy zu überwinden.[43]

INTEGRATION UND STANDARDISIERUNG

Neben der Entwicklung leistungsfähigerer Übertragungstechnologien ist eine der größten Herausforderungen die Integration der vielen verschiedenen, historisch gewachsenen Informationsverarbeitungssysteme in eine funktionierende Einheit. Dazu hat das U.S.-Verteidigungsministerium die Vision des Global Information Grid (GIG) entwickelt, in das alle existierenden System eingebunden werden sollen, die Informationen nutzen bzw. bereitstellen. Insbesondere sollen UMS als dynamische Netzknoten agieren (DoD 2007b; OSD 2005, S. C-1 ff.). Um die Interoperabilität zwischen den Systemen zu gewährleisten, sind umfangreiche Arbeiten zu Normen und Standards erforderlich. Auch im Rahmen der NATO laufen Normungsbemühungen u. a. für Bild- und andere Sensordaten, Metadaten und Schnittstellen zu UAV (sog. »Standardization Agreements«, STANAGs).

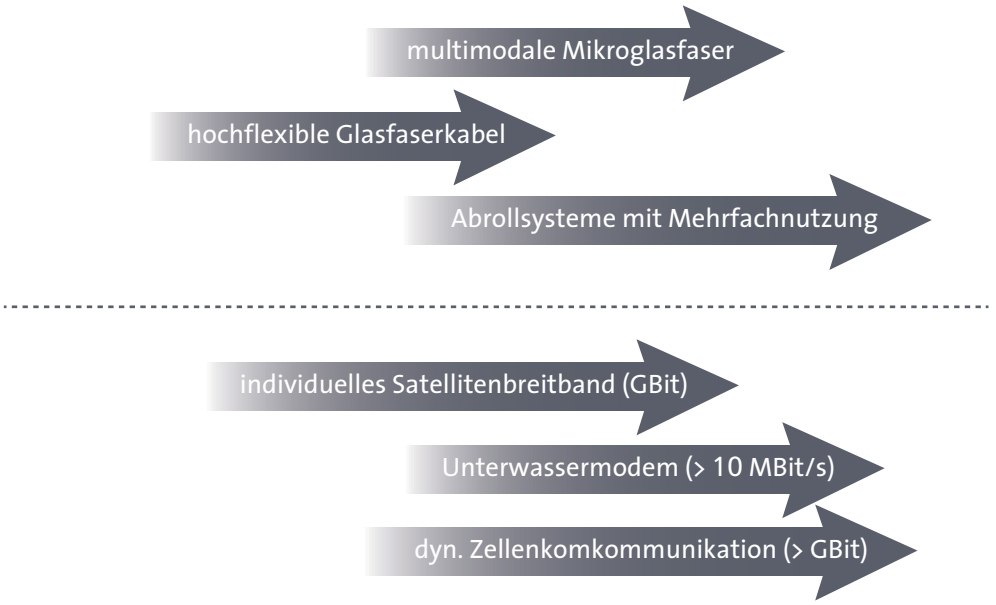
Besondere Anstrengungen gelten der Informationssicherheit, wobei in der Regel auf zivile Protokolle (wie »Secure Socket Layer«, SSL) aufgesetzt wird. Nutzer müssen sich für die jeweilige Information authentifizieren, verschiedene Zugriffsebenen müssen verlässlich getrennt gehalten werden.

---

42 Derzeit sind im sogenannten. »Common Data Link« (CDL) der U.S.-Streitkräfte bis zu 274 MBit/s verfügbar (OSD 2005, S. B-9 f.).

43 FORCEnet ist einer der vier Pfeiler des Konzepts »Sea Power 21« der U.S. Navy (Sea Shield, Sea Strike, Sea Base, FORCEnet) und soll die netzwerkzentrierte Kriegführung u. a. als Interface zum Global Information Grid ermöglichen (DoN 2004, S. XX u. S. 20 ff.).

ABB. 25 KOMMUNIKATION: MITTEL- BIS LANGFRISTIGE ENTWICKLUNGEN



Quelle: DFKI/RD 2009, S. 69

NUTZSENSORIK 1.6

»Nutzsensoren« sind alle Sensoren, die nicht unmittelbar zur Selbstlokalisation, Navigation oder Selbsterhaltung eines UMS beitragen, sondern der Missionserfüllung (z. B. Aufklärung) dienen. Es werden Sensoren für eine Vielzahl unterschiedlicher Signale eingesetzt. Prinzipiell besteht jeder Sensor aus einer Komponente zur Signalerfassung und einer zur Signalauswertung.

Viele der in militärischen UMS verwendbaren Sensorarten und -technologien sind nicht UMS-spezifisch. Oft kann auf bereits eingeführte Technik zurückgegriffen werden. Generelle Entwicklungsziele für UMS-Sensoren sind Verringerung von Größe, Gewicht und Energieverbrauch. Perspektivisch sollen Sensorsysteme autonom relevante Objekte suchen und erkennen sowie die Navigation im Schwarm unterstützen. Fernziel ist die Annäherung an menschenähnliche Wahrnehmungsfähigkeiten bei der Analyse und Bewertung der aufgenommenen Informationen, sogenannte »kognitive Sensoren« (DFKI/RDE 2008, S. 70).

ELEKTROMAGNETISCHES SPEKTRUM

Am häufigsten auf UMS genutzt werden Sensoren für elektromagnetische Felder in den verschiedenen Spektralbereichen. Zu nennen sind vor allem Licht im optischen und infraroten Spektralbereich, Funk- bzw. Radiowellen sowie Radar/Lidar, aber auch statische Magnetfelder.

Für Foto- und Videokameras für sichtbares Licht werden oft kommerzielle Typen verwendet und ggf. an militärische Bedürfnisse angepasst. So sollen durchweg Normen des hochauflösenden Fernsehens (»High Definition Television«, HDTV), wie sie für den zivilen Markt entwickelt werden, verwendet werden und die Qualität der Bilddaten verbessern. Bei Infrarotkameras, die vor allem für Nachtsicht benötigt werden, sind weiterhin aufwendige militärische Eigenentwicklungen nötig. Die Aufzeichnung vieler spektraler Kanäle (Multi- oder Hyperspektralkameras mit einigen Zehn bzw. einigen Hundert Kanälen) erlaubt es, wesentlich detailreichere Bilder zu generieren. Solche Kamerasysteme werden bereits heute auf Aufklärungs-UMS eingesetzt (Mercury 2006). Weiterentwicklungen sollen es z. B. ermöglichen, Aerosolwolken mit chemischen oder biologischen Agenzien zu erkennen oder Tarnungen zu überwinden.[44]

Als aktiver elektromagnetischer Sensor wird verbreitet Radar verwendet, das vor allem bei UAVs erhebliche Anforderungen an deren Energieversorgung stellt. Zur Detailaufklärung aus der Luft wird Radar mit synthetischer Apertur (SAR) eingesetzt, bei dem die Signale (Amplitude und Phase) mehrerer Radarpulse mit hohem Rechenaufwand zu hochauflösenden Bildern kombiniert werden. Die Entwicklung geht zu immer höherer Auflösung, zur präzisen Detektion von kleinen Änderungen im Aufklärungsgebiet (»change detection«) und zu Frequenzen, die Laub durchdringen können. Weitere Entwicklungsziele sind Miniaturisierung und flache, gekrümmte, elektronisch steuerbare Antennen, die z. B. auf die Außenhaut von UMS aufgebracht werden könnten (Altmann et al. 2008, S. 65).

Gegenwärtig ist in der U.S. Air Force das MP-RTIP (»Multi-Platform Radar Technology Insertion Program«) in Entwicklung, das eine verbesserte Detektion von sich langsam bewegenden Objekten am Boden sowie von tieffliegenden Marschflugkörpern ermöglichen soll.[45]

Als weiteres bildgebendes Verfahren wird Laserradar (LIDAR) entwickelt, das auch die Tiefeninformation zu den beobachteten Objekten liefert. Laserradar funktioniert jedoch nicht bei Nebel, dichtem Regen oder Schneetreiben, sodass weiter offen bleibt, ob es routinemäßig bei UMS eingesetzt werden wird. Laserradar wird ebenfalls erforscht, um Aerosole zu entdecken und anhand des rückgestreuten Signals frequenzaufgelöst chemische oder biologische Agenzien zu identifizieren (Altmann et al. 2008, S. 66).

Im Bereich Signalaufklärung wird zurzeit v. a. daran gearbeitet, vorhandene Systeme zu modifizieren und UAV-tauglich zu machen. Die U.S. Air Force entwi-

44 Beispielsweise das »Adaptive Focal Plane Array« (AFPA) der DARPA; www.darpa.mil/mto/programs/afpa/ (9.12.2010)

45 Die sogenannten »Block 40« Global Hawks sollen damit ausgerüstet werden. Allerdings ist das MP-RTIP derzeit hinter dem ursprünglichen Zeitplan zurück (GAO 2009c, S. 34).

ckelt die Airborne Signals Intelligence Payload, mit der sowohl die bemannte U-2 als auch das UAV Global Hawk ausgerüstet werden sollen.[46] Die U.S. Army arbeitet an einer skalierbaren »Tactical SIGINT Payload«, die von UAVs aus Funksender auf dem Schlachtfeld orten und Hinweise für die genauere Suche mit anderen Sensoren geben soll.

Für den Einsatz zu Wasser werden Magnetfeldsensoren zum Entdecken von U-Booten und Seeminen (weiter) entwickelt (Altmann et al. 2008, S. 66).

AKUSTISCHE SENSOREN

Akustische Sensoren werden vor allem für marine UMS entwickelt (Sonar, Hydrofone). Um die Detailauflösung von Sonar um bis zu einen Faktor 10 zu verbessern, wird gegenwärtig an Sonar mit synthetischer Apertur gearbeitet (ähnlich wie bei Radar).[47] Aber auch für UGVs können akustische Sensoren interessant sein. So können z. B. mit Ultraschallsensoren die Richtung von und die Abstände zu Objekten im Nahbereich bestimmt werden.

TAKTILE (BERÜHRUNGS- UND TASTSENSOREN)

Taktil-tastende und taktil-gleitende Sensoren (z. B. Dehnungsmessstreifen, Piezosensoren) liefern Informationen über die Beschaffenheit von Gegenständen und deren Oberflächen. Sie sind in hohem Maße für den Einsatz bei Manipulatoren interessant, z. B. um die Kraft von Greifarmen richtig zu dosieren.

CHEMISCHE UND BIOLOGISCHE SUBSTANZEN/IONISIERENDE STRAHLUNG

Zum Nachweis chemischer und biologischer Agenzien setzen sich zunehmend die sogenannten Micro-Electro-Mechanical-Systeme (MEMS) durch. Damit können komplexe Analyseprozesse, die bisher nur im Labor durchgeführt werden konnten, in einem Sensor auf kleinstem Raum implementiert werden (»Lab on a chip«). Ermöglicht wird diese Technologie durch die Fortschritte der letzten Jahre in den Nanotechnologien und der Mikrosystemtechnik.

Für chemische, biologische und Strahlungssensoren (zum Nachweis von Nuklearmaterialien) laufen unabhängig von UMS viele FuE-Arbeiten, vor allem im Zusammenhang mit dem Themenkomplex zivile Sicherheit (Altmann et al. 2008, S. 66).

SIGNALAUSWERTUNG

Das langfristig größte Entwicklungspotenzial für die Nutzsensorik besteht auf dem Gebiet der Signalauswertung. Neue und verbesserte Algorithmen (z. B. zur

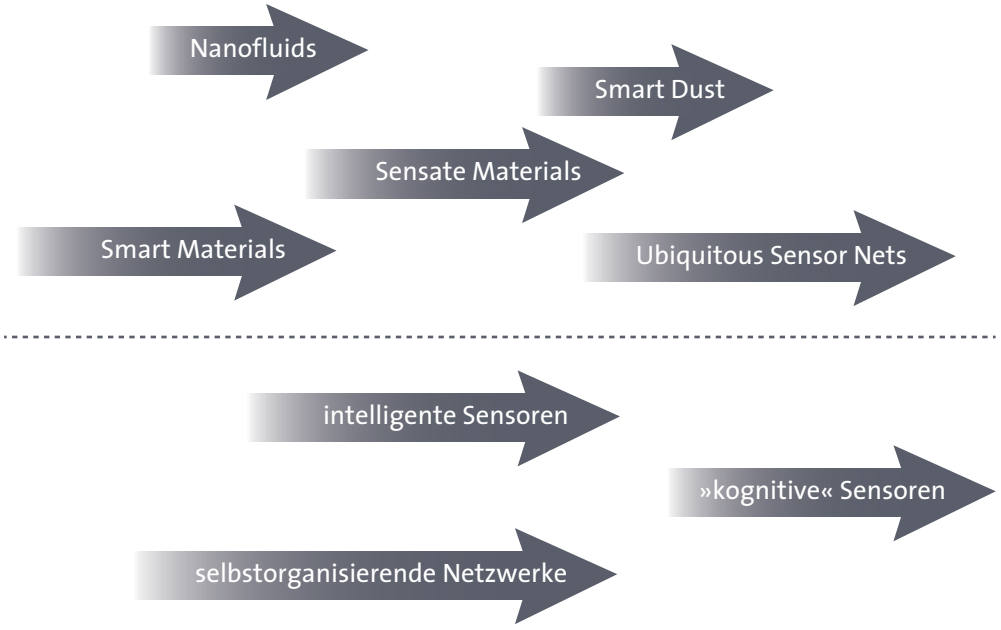
46 26 sogenannte Block 30-Global Hawks sollen beschafft werden. Flugtests begannen im September 2008 (GAO 2009c, S. 33).
47 z. B. Kongsberg 2010

automatischen 3-D-Bildverarbeitung), die intelligente Verknüpfung mehrerer gleichartiger (z. B. als selbstorganisierende Sensornetze) oder unterschiedlicher Sensoren (Sensorfusion, Multisensorarrays) bieten bereits kurz- bis mittelfristig eine Vielzahl neuer Einsatzmöglichkeiten (Ruser/Puente León 2007). Langfristig könnten echte »kognitive« Sensoren entwickelt werden, die nicht nur Daten sammeln, sondern über eine semantische Analyse der gemessenen Parameter ihre Umgebung »verstehen«(Howard/Tunstel 2002).

Mit steigender verfügbarer Rechenleistung wird ein zunehmender Anteil der Datenauswertung direkt an Bord durchgeführt werden können. Dennoch wird man auch weiterhin große Datenmengen bei hohen Datenraten zur Analyse an größere Rechner am Boden übertragen müssen.

Zur Bestimmung von Zielkoordinaten wird an der Georeferenzierung der gewonnenen Bodenbilder gearbeitet, d. h. an einer Verknüpfung mit dem geografischen Koordinatensystem.

ABB. 26 NUTZSENSORIK: MITTEL- UND LANGFRISTIGE ENTWICKLUNGEN



Quelle: DFKI/RD 2009, S. 70

AMBIENT INTELLIGENCE

Durch die fortschreitende Miniaturisierung und Leistungssteigerung von Sensorkomponenten rücken mittel- bis langfristig neuartige Konzepte zur Sensorausstattung natürlicher und künstlicher Räume in den Bereich des Machbaren. Mikrosensoren, die im Gelände ausgebracht werden, tauschen Messdaten und Informationen mit bemannten und unbemannten Systemen aus und bilden damit

ein ständig verfügbares, verteiltes und adaptives Netzwerk (Aarts/de Ruyter 2009; Sohraby et al. 2007).[48] Ein anderer Ansatz ist es, Sensoren direkt in Materialien, z. B. Kleidung, zu integrieren (»smart« bzw. »sensate materials«) (Tao 2001). Die Verwirklichung dieser Visionen würde die militärische Informationsgewinnung und Kommunikation grundlegend revolutionieren.

AUTONOMIE 1.7

Bei einem technischen System versteht man unter Autonomie die Fähigkeit, eine Sequenz von Aktionen eigenständig ohne Unterstützung des Menschen angepasst an Umgebungssituationen durchzuführen. Dazu muss das System in der Lage sein, unbekannte Situationen zu erfassen, zu bewerten und die entsprechenden notwendigen Aktionen zur Erreichung des Missionsziels eigenständig abzuleiten und auszuführen (Woods 1996). Höhere Grade von Autonomie zeichnen sich u. a. durch eine an die Umwelt und die zu erfüllende Aufgabe angepasste Herausbildung von Verhaltensmustern, Lernfähigkeit und die Möglichkeit zur Kooperation aus.

Autonomie ist eine Schlüsselfähigkeit von UMS, die es möglich macht, immer komplexer werdende Missionen kollaborativ und koordiniert im Team mit anderen bemannten und unbemannten Einheiten einzusetzen. Ein erklärtes Ziel ist es, zukünftig menschliche Bediener so weit wie möglich durch autonome technische Systeme zu ersetzen (DoD 2007, S. 53). Die erwartbaren Vorteile bestehen erstens darin, dass ein menschlicher Bediener mehrere UMS steuern könnte, da er nur allgemeine Richtlinien ausgeben müsste. Zweitens würden Verzögerungen durch Datenübertragung und menschliche Entscheidung wegfallen. Drittens wäre der Kommunikationsbedarf drastisch geringer, da umfangreiche Sensordaten gleich an Bord verarbeitet würden. Dadurch wiederum würde, viertens, die Entdeckbarkeit verringert (Altmann et al. 2008, S. 74).

Zur Differenzierung des Autonomiegrads von UMS verwendet die U.S. Army eine zehnstufige Einteilung (Tab. 15). Beginnend bei Fernsteuerung (Stufe 1) werden in Stufe 3 Wegpunkte vorgegeben, die dann selbstständig angesteuert 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. Ab Stufe 8 sind kooperative Einsätze möglich, bei 10 ist völlige Autonomie erreicht.

Der Global Hawk weist einen Autonomiegrad von etwa 3 auf. Eine Abschätzung, wann UMS mit hoher System- und Missionsautonomie zur Verfügung stehen könnten, ist außerordentlich schwierig. Für fliegende Systeme wurde im

48 Weitere gebräuchlich Bezeichnungen sind »Smart Dust«, »Wireless Sensor Networks« oder »Ubiquitous Sensor Nets«.

JUCAS-Programm (»Joint Unmanned Combat Air Systems«) als kurzfristig zu erreichendes Ziel das Autonomieniveau 6 definiert, 10 wird für 2015 erwartet (OSD 2005, S. D-10).

TAB. 15 AUTONOMIENIVEAUS DER U.S. ARMY

Niveau	Beschreibung	Fähigkeit
1	Fernsteuerung	Steuerbefehle vom entfernten Bediener
2	Fernsteuerung mit Wissen über Fahrzeugzustand	Steuerbefehle vom entfernten Bediener
3	extern vorgeplanter Einsatz	elementare Pfadverfolgung
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 Beweglichkeit/Geschwindigkeit, mit einiger Bedienerhilfe
7	Zusammenführen örtlicher Sensorsignale und Daten	komplexes Gelände mit Hindernisbewältigung, begrenzter Beweglichkeit/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 geringer Bedieneraufsicht
10	volle Autonomie	Erreichen der Einsatzziele durch Zusammenarbeit bei Planung und Ausführung, ohne Bedieneraufsicht

Quelle: Auszug aus O'Donnel 2003 in NRC 2005, S. 54 f. übersetzt durch Altmann et al. 2008, S. 76

Die größten technischen Herausforderungen stellen sich sicher bei Landfahrzeugen. Das Komitee für Army-UGV hat für seine anspruchsvollste Kategorie (»hunter killer«), die u. a. Freund und Feind unterscheiden sowie Nichtkombattanten erkennen soll, als Zeitpunkt der Realisierung das Jahr 2025 angegeben (NRC 2002a, S. 109).[49] Ob diese optimistische Vorhersage – selbst bei deutlich erhöhtem Mitteleinsatz – eintrifft ist unklar, da eine Reihe von zentralen Tech-

49 Die anderen Kategorien (mit ihrem möglichen Realisierungsjahr) sind: »Searcher« (2005), »Donkey« (2009) und »Wingman« (2015).

nologien noch relativ unreif ist bzw. eine sehr hohe Ungewissheit aufweist. Das gilt u. a. für (NRC 2002a, S. 59, 61, 66, 68, 75 u. 82):

- Algorithmen für die Einsatzplanung sowie gleichzeitige Wegplanung für mehrere UGV (bzw. UAV),
- Technologien 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,
- Technologien für die Mensch-Roboter-Interaktion unter praxisnahen Einsatzanforderungen,
- Kommunikation, einschließlich der Verhinderung von Störung und Abhören, der Sicherheit und Kompatibilität sowie der Sicherstellung, dass immer Netzknoten in genügender Nähe aktiv sind.

Wie ambitioniert diese Zielsetzung ist, lässt sich mit einem Vergleich illustrieren: Für das Fußballspielen, das wohl eine deutlich leichtere Aufgabe ist, als im bewaffneten Konflikt gegen einen militärischen Gegner zu bestehen, wird vom internationalen Roboterfußballprojekt eine deutlich zurückhaltendere Einschätzung abgegeben: »Das Ziel der internationalen RoboCup-Initiative ist, bis 2050 eine Mannschaft menschenähnlicher Roboter zu entwickeln, die gegen den offiziellen menschlichen Fußballweltmeister gewinnen kann.«[50] In diesem Licht erscheint das Ziel vollständiger, menschenähnlicher Autonomie militärischer UGVs im Jahr 2025 nicht sehr realistisch. Mittlerweile ist auch in den USA in Bezug auf das schnelle Erreichen hoher Autonomiegrade eine größere Zurückhaltung auszumachen.

Ein möglichst hoher Grad von Autonomie bei UMS muss unter technologischen und finanziellen Gesichtspunkten auch nicht uneingeschränkt erstrebenswert sein. Zum einen steigt mit der Autonomie auch die Komplexität der Systeme erheblich an, was sich negativ auf ihre Robustheit und Zuverlässigkeit auswirken kann. Außerdem steigen die Lebenszykluskosten eines UMS (als Summe von Beschaffungs-, Entwicklungs- und Betriebskosten) in Abhängigkeit vom Autonomiegrad ab einem bestimmten Punkt drastisch an, sodass es im Allgemeinen kostengünstiger ist, einen den Missionszielen angepassten Autonomiegrad zu implementieren und nicht den höchsten erreichbaren (FKIE/RDE 2008, S. 13).

50 Informationen zum Projekt unter www.tzi.de/humanoid/bin/view/Website/WebHome (9.12.2010)

QUERSCHNITTSTECHNOLOGIEN 2.

Fortschritte bei Querschnittstechnologien sind oft ein Schlüssel für Durchbrüche in anderen Technologiebereichen. Zu nennen sind hier in erster Linie Computer- und Informationswissenschaft und -technik, Materialwissenschaft und -technik sowie Biowissenschaft und -technik. Nanotechnologien und Mikrosystemtechnik spielen ebenfalls eine wichtige Rolle bei der stetig steigenden Leistungsfähigkeit und Miniaturisierung von Bauteilen.

INFORMATIONSTECHNOLOGIE UND ELEKTRONIK 2.1

Nach wie vor ist im Bereich der Elektronik eine dynamische Entwicklung zu beobachten. Der Trend geht vorwiegend in Richtung einer kontinuierlichen Verbesserung bzw. Leistungssteigerung elektronischer Komponenten bei gleichzeitiger Miniaturisierung und geringerem Energieverbrauch. Waren zum Beispiel vor fünf Jahren GPS-Empfänger noch große eigenständige Geräte, so findet die für ein solches System notwendige Logik inzwischen auf einem Chip Platz und wird in Mobiltelefonen und anderen Geräten als Zusatzfunktion angeboten.

Im Kontext von UMS bedeutet dieser Trend, dass sich viele algorithmische Probleme die derzeit noch die Entwicklung mobiler robotischer Systeme behindern, mittel- bis langfristig durch die dann zur Verfügung stehende höhere Rechenleistung lösen lassen. Beispielsweise können die Interpretation von Sensordaten und die Interaktion mit menschlichen Bedienern sowie der Autonomiegrad der Systeme stark verbessert werden. Nicht nur die bereits etablierte Spracherkennung, sondern ein echtes Sprachverständnis könnte innerhalb eines Jahrzehnts im Bereich des Möglichen liegen ebenso wie die visuelle Erkennung von Objekten in natürlichen Umgebungen (DoD 2007, S. 47).

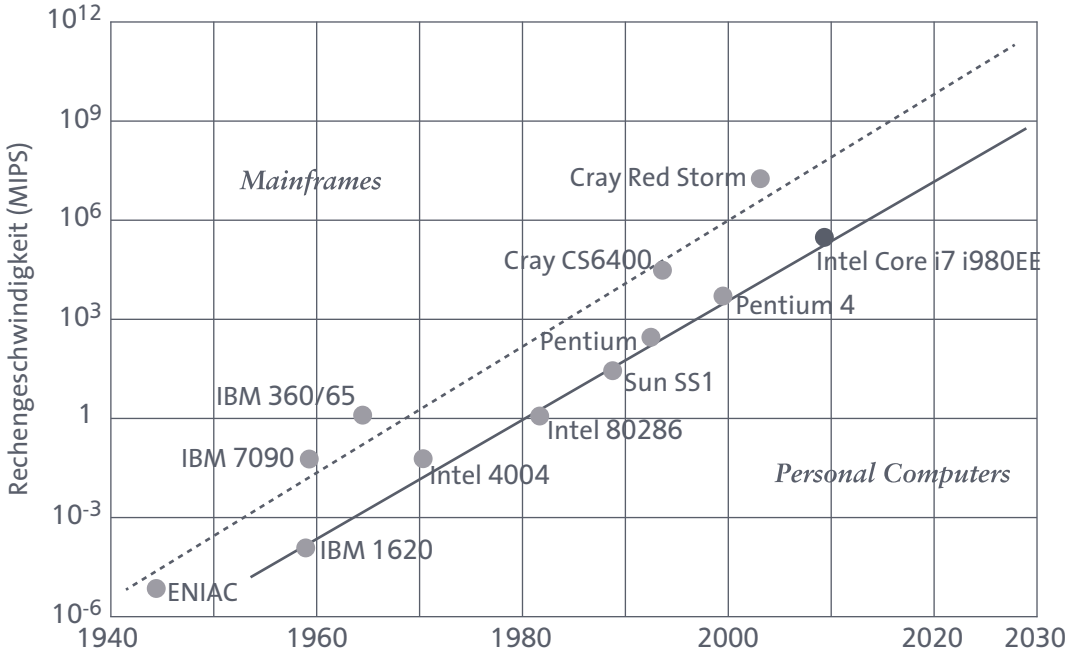
PROZESSOREN UND DATENSPEICHER

Überlegungen zur Steigerung der Rechenleistungen von Prozessoren gehen häufig vom sogenannten »Moore'schen Gesetz« aus, das besagt, dass etwa alle 18 Monate eine Verdopplung der Anzahl an Schaltkreisen auf einem Chip erzielt werden kann. In Abbildung 27 sind die historische Entwicklung und eine Extrapolation der Rechengeschwindigkeit gezeigt.

Setzt man die menschliche Rechengeschwindigkeit mit 10^8 Mio. Berechnungen pro Sekunde (»Million Instructions per Second«, MIPS) an, liegen gegenwärtige einigermaßen tragbare Rechner mit 10^4 MIPS vier Größenordnungen darunter. Bei Fortsetzung des bisherigen Trends ist menschliche »Rechenleistung« für Großrechner um 2015, für PCs um 2030 zu erwarten. Für die Fähigkeit, ein Auto

zu fahren, sind etwa 10^5 bis 10^6 MIPS nötig, die je nach angenommenem Trend für 2006 bzw. 2011 erwartet werden (NRC 2002a, S. 99 ff.).[51]

ABB. 27 TRENDS IN DER RECHENGESCHWINDIGKEIT VON GROSSRECHNERN (OBEN) UND PCS (UNTEN)



MIPS: Millionen Befehle pro Sekunde

Quelle: DoD 2007, S. 46, aktualisiert mit en.wikipedia.org/wiki/Instructions_per_second

Dass die Rechenleistung noch etwa zehn Jahre gemäß dem bisherigen Trend ansteigen wird, ist wahrscheinlich. Einige Industrievertreter gehen davon aus, dass dieses Entwicklungstempo noch bis zum Jahr 2029 anhält (heise online 2008b). Kritiker merken an, dass sowohl technische Grenzen der Miniaturisierung bald (2015–2020) erreicht sein könnten, als auch der finanzielle Aufwand für jeden Miniaturisierungsschritt überproportional ansteigt und damit einen limitierenden Faktor darstellen könnte.

Nicht nur deshalb wird an neuen Hardwaretechniken intensiv geforscht. Ein bereits marktreifer technischer Lösungsansatz sind z. B. rekonfigurierbare Schaltkreise (»Field Programmable Gate Arrays«, FPGA) die komplexe Algorithmen direkt auf Hardwareebene umsetzen und 10- bis 100-fach schneller ablaufen lassen können als Universalprozessoren – bei gleichzeitig kleinerem Energiever-

51 Diese Prognose aus dem Jahr 2002 ist eingetreten: Ende 2007 erreichte die CPU Intel Quad-Core Xeon E5472 8·1010 Gleitkommaoperationen pro Sekunde, also etwa 105 MIPS.

brauch. Zukünftig denkbar sind molekulare, optische, biochemische oder Quantencomputer. Diese Konzepte, die sich vollständig von der herkömmlichen Siliziumelektronik lösen, sind aber wohl noch mindestens zwei Jahrzehnte entfernt, Hybridausführungen könnten eventuell früher realisiert werden (DoD 2007, S. 46). Bei digitalen Datenspeichern werden an Bord von UMS Kapazitäten im Terabyte-Bereich angestrebt, damit die vollen, ggf. multispektralen, Bildinformationen oder Radarphasen von mehreren Tagen an Bord von UAVs gehalten und bei Bedarf über das Netzwerk abgerufen werden können (OSD 2005, S. B-9 f.). Die Entwicklungen bei Festplatten zeigen, dass dies schon erreicht und in Erprobungen demonstriert worden ist.

SIMULATION

Neben der Hardwareentwicklung ist auch die Software, und hier besonders die numerische Simulation, ein Bereich der Informationstechnologie, der sich äußerst dynamisch entwickelt und großes Potenzial für die Leistungssteigerung von UMS verspricht. Die Simulation dient vor allem als Werkzeug bei der Entwicklung neuer Systeme, aber auch zur Schulung der Bedienmannschaften und zur Einsatzplanung. Beispielsweise können mithilfe von Simulationen neue Missionen und Einsatzszenarien geplant und im Vorhinein durchgespielt werden.

Aufgrund ihrer Komplexität gelten reale Umgebungen zurzeit noch als nicht simulierbar. Allerdings werden die zu erwartende Steigerung der verfügbaren Rechenleistung (siehe oben) und neue algorithmische Verfahren dazu beitragen, dass sich simulierte Umgebungen und Systeme immer mehr der Realität annähern. Damit wird es auch möglich, bisher nur schwer modellierbare Umgebungen (z. B. Wasser, Sand) in den Griff zu bekommen.

Im Bereich der Simulation ist ein treibender Faktor die zivile Nachfrage nach immer realistischeren Computerspielen. Hier hat sich eine für beide Seiten fruchtbare Kooperation zwischen wissenschaftlicher Forschung und Spieleentwicklern herausgebildet. Die großen Fortschritte bei physikalischen Simulationen in den letzten Jahren basieren zum Großteil auf dieser Zusammenarbeit: Die Hersteller von erfolgreichen Spielen stellen inzwischen Teile ihrer Software Forschungsinstituten zur wissenschaftlichen Verwendung zur Verfügung, diese benutzen sie bei ihren Experimenten und verbessern die Eigenschaften der Programme. Die Verbesserungen fließen dann zurück in die Spiele.

NEUE MATERIALIEN 2.2

Neue Materialien, Werkstoffe und Fertigungsmethoden sind wesentliche Triebfedern für Innovationen. Es wird geschätzt, dass rund 70 % aller technischen Neuentwicklungen direkt oder indirekt von den Eigenschaften der verwendeten

Werkstoffe abhängen (BMBF 2007). Auch für die Weiterentwicklung von UMS spielen neue Werkstoffe eine Schlüsselrolle. Mit neuen Verbundwerkstoffen (glasfaser- und kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe, Wabenstrukturen), verbesserten traditionellen Werkstoffen (Metalllegierungen, Keramiken, Textilien) und neuartigen Konzepten in der Materialforschung (z. B. Komposite mit Nanoröhrchen) können mobile Systeme leichter und gleichzeitig widerstandsfähiger als bisher gebaut werden.

Vor allem für UAVs sind hochfeste, vibrationsstabile und möglichst leichte Werkstoffe gefragt. Wie bei bemannten Flugzeugen stehen gegenwärtig Aluminium, Titan und Verbundwerkstoffe zur Verfügung. Besonders Verbundwerkstoffe erlangen eine immer größere Bedeutung. So bestehen z. B. beim »Eurofighter« bereits 40 % der Strukturmasse sowie 70 % der Oberfläche aus kohlenstofffaserverstärkten Polymeren (Grüne et al. 2006, S. 163). Problematisch ist allerdings deren Reparatur, wenn Fasern geschädigt sind. Forschung und Entwicklung gehen daher in Richtung eingebauter Mikrokapseln mit einem »Leim«, die Risswachstum vermeiden, perspektivisch sollen selbstheilende Werkstoffe den ursprünglichen Zustand wieder herstellen. Andere Forschungsziele sind die gezielte richtungsabhängige Gestaltung der Steifigkeit von Materialien durch das sog. »aeroelastische Zuschneiden« sowie die Integration von Mikrosensoren zur Zustandsüberwachung. Fortschritte in dieser Hinsicht wären besonders relevant für die Flügel von großen UAVs, wo das Gewicht die mögliche Flugdauer direkt beeinflusst (Altmann et al. 2008, S. 67). Sogenannte »structural cellular materials«(hochporöse, z. B. schaumartige Stoffe) werden entwickelt, u. a. um die Energie von Detonationen zu absorbieren. Auch bei UGVs könnten neue Materialien – beispielsweise zum Bau nachgiebiger Karosserien – mittelfristig ebenfalls Innovationsimpulse auslösen.

Auch biologisch inspirierte Materialien, z. B. extrem dünne, zugfeste und zugleich hochelastische Fasern aus künstlicher Spinnenseide, befinden sich derzeit in der Entwicklung. Diese können z. B. mithilfe von gentechnisch veränderten Bakterien (Scheibel 2009) oder aus der Milch transgener Schafe (Nachtigall 2002, S. 64 ff.) gewonnen werden. Zu Faserverbundwerkstoffen verarbeitet könnten sie zukünftig als extrem leichte, feste und flexible Strukturmaterialien für UAVs geeignet sein, die zudem eine verringerte Radarsignatur aufweisen. Neben Strukturwerkstoffen sind neue Materialien auch bei der Weiterentwicklung von Schlüsseltechnologien für UMS, z. B. der Energieversorgung, von entscheidender Bedeutung. Ein Beispiel ist die Effizienzsteigerung von Akkumulatoren durch neue Kathodenmaterialien (z. B. Lithiumeisenphosphat, nanostrukturierte Oberflächen).

Auch neue und verbesserte Fertigungstechniken tragen dazu bei, vorhandene Ansätze bei der Konstruktion von mobilen Systemen zu verbessern bzw. ganz neue Wege zu gehen. Zu nennen sind hier vor allem verbesserte Schmiede-, Sin-

ter- und Fräsverfahren. Mittel- bis langfristig werden Verfahren wie das »Rapid Prototyping«, bei dem elektronische Konstruktionspläne direkt in dreidimensionale Fertigungsprototypen umgesetzt werden können, eine stärkere Rolle, vor allem bei der schnellen Entwicklung und Erprobung neuartiger Ansätze für mobile Systeme spielen.

BIOTECHNOLOGIE UND BIOMIMETIK 2.3

Biotechnologie und Biomimetik können in vielen Bereichen neuartige oder effizientere Anwendungen eröffnen, etwa insektenartige UMS. Selbstreinigende oder sogar selbstdekontaminierende Oberflächen könnten nach biologischen Vorbildern geschaffen werden. Auch neue Klassen von Biosensoren z. B. für biologische Agenzien mit abstimmbarer Sensitivität und Spezifizität sind in der Entwicklung. Die sensorischen Fähigkeiten von Lebewesen (z. B. visuelle aber auch olfaktorische Wahrnehmung und Mustererkennung) dienen als Vorbilder für die Entwicklung technischer Sensorik.[52]

Mithilfe der sogenannten *Synthetischen Biologie* wird die technische Synthese neuartiger biologischer Systeme, die nicht in der Natur vorkommen, angestrebt. Obschon die Erschaffung einer vollständig künstlichen funktionierenden Zelle noch viele Jahre in der Zukunft liegt, ist dies eine Disziplin an der Schnittstelle von Gen-, Nano- und Informationstechnologie, die sich sehr dynamisch entwickelt (de Vriend 2006; van Est et al. 2007). Kürzlich gelang es z. B. einer Gruppe um Gentechnik-Pionier Craig Venter das komplette Erbgut eines Bakteriums in ein fremdes zu verpflanzen und dadurch zu verändern (Lartigue et al. 2009).

Im Spannungsfeld technologischer Visionen einerseits und gesellschaftlicher und ethischer Bedenken (biologische Sicherheit, Bioterrorismus, Patente auf Leben) andererseits werden zukünftig sicher auch militärische Anwendungen der synthetischen Biologie aufkommen, seien es neuartige Biosensoren oder genetisch modifizierte Designermikroben, die bestimmte Stoffe herstellen.

NANOTECHNOLOGIE/MIKROSYSTEMTECHNIK 2.4

Nanotechnologie ist ein Sammelbegriff für eine breite und heterogene Palette von Technologiefeldern, die sich mit Strukturen und Prozessen auf der Nanometerskala befassen. In vielen auch für UMS relevanten Industriebranchen – z. B. Automobilindustrie, Luft- und Raumfahrt, Chemische Industrie – sind bereits

52 Dies ist Gegenstand der Programme »Neovision2« und »RealNose« des DARPA Defense Sciences Office (DSO); www.darpa.mil/dso/thrusts/bio/index.htm; (9.12.2010) (s. a. Anhang)

heute Produkte und Verfahren der Nanotechnologie nicht mehr wegzudenken (Paschen et al. 2004). So können viele Innovationen in den oben diskutierten Technologiefeldern IT, Werkstoffe und Materialien sowie Biotechnologie auch der Nanotechnologie zugeordnet werden. Der Mikrosystemtechnik kommt dabei oft eine Integrationsfunktion zu, indem nanotechnologische Funktionselemente zu einem eine bestimmte Aufgabe erfüllenden Gesamtsystem zusammengefügt werden. Von der Nanotechnologie werden in den nächsten Jahren zahlreiche Neuerungen mit militärischen Anwendungsmöglichkeiten erwartet (Altmann 2006; Grüne et al. 2006, S. 143 ff.; MIT-ISN 2009). Als Beispiele seien genannt:

- Sensoren (Chemo- und Biosensoren in Kombination mit einer selbstlernenden Datenverarbeitung (»künstliche Nase«) zur Detektion von B- und C-Kampfstoffen;
- wesentlich schnellere Kommunikation durch optische statt elektrische Datenverarbeitung auf der Grundlage von Nanostrukturen (»photonische Kristalle«);
- flexible (z. B. aufrollbare) Farbdisplays mit auf Nanoröhren basierenden Feldemissionsdisplays (FED);
- Quantencomputer zur Entschlüsselung bzw. Quantenkryptografie zur abhörsicheren Kommunikation;
- nanopartikelverstärkte Polymere mit einem Spektrum möglicher Anwendungen von leichtgewichtigen Strukturmaterialien für Flugkörper, für leichte Panzerungen oder als Hitzeschutzmaterialien in Raketendüsen;
- Nanoteilchenbeschichtungen zur Erhöhung der Temperaturfestigkeit in Antriebsmaschinen;
- Kohlenstoffnanoröhren für erheblich festere, dabei aber leichtere Verbundwerkstoffe mit optimierten mechanischen, thermischen und elektrischen Eigenschaften. Sie können auch in zukünftigen Prozessoren als Schalt- oder Speicherelemente eine Rolle spielen.

ZUKUNFTSPERSPEKTIVEN VON QUERSCHNITTSTECHNOLOGIEN 2.5

Das U.S.-Department of Defense (DoD) hat in seiner Roadmap einige Querschnittstechnologien herausgehoben, von denen Impulse für die Weiterentwicklung von UMS erwartet werden (DoD 2007, S. 44 ff.). Es stützt sich dabei auf eine Studie des National Research Council (NRC 2002b).

- Transgene Biopolymere, etwa Spinnenseideneiweiße, die aus der Milch genetisch veränderter Schafe gewonnen werden, versprechen ultraleichte, ultrafeste und flexible Flugzellen und Verkleidungen für UMS mit geringer Signatur.
- Nanoteilchen können ein Spektrum neuartiger Eigenschaften aufweisen. Kohlenstoffnanoröhren mit sehr hoher Resonanzfrequenz könnten in UMS-Kommunikationsverbindungen genutzt werden. Oberflächenbeschichtungen mit

Nanoteilchen und elektrisch leitenden Polymeren können auf Knopfdruck von transparent auf undurchlässig geschaltet werden, ihre Farbe verändern, elektrisch kühlen oder heizen oder in thermoelektrischen Energiewandlern verwendet werden.

- Mithilfe der Mikrosystemtechnik könnten wichtige Bauteile von UMS radikal verkleinert werden – z. B. zu zentimetergroßen Turbinen und stecknadelkopfgroßen Aktoren. UGVs könnten dadurch wie leicht zu übersehende Insekten im Gelände abgesetzt werden, UUVs könnten sich an Seeminen heften.
- PEM-Brennstoffzellen besitzen bereits heute eine ähnliche Leistungsdichte wie Verbrennungsmotoren und bieten zusätzliche Vorteile, wie z. B. geräuscharmen Betrieb. Damit sie für den Einsatz in UMS attraktiv werden, muss ihre Schlüsselkomponente, die Membranen, im Hinblick auf Effizienz und Kosten noch weiter optimiert werden.
- Intelligente Materialien, die Funktionen von Sensoren, Steuerung und Aktoren vereinen, könnten sich an veränderliche Umweltbedingungen adaptieren und sogar sich selbst reparieren. Sie könnten sich für verformende Flügel (»morphing wings«) von UAVs eignen und die üblichen Steuerflächen (Ruder, Landeklappen) samt Mechanik überflüssig machen.
- Magnetische Nanoteilchen könnten einen Entwicklungssprung bei magnetischen Speichermedien bewirken, was die mögliche Datenspeicherkapazität in UMS erheblich vergrößern würde.

Einen guten Eindruck von Querschnittsfeldern, die gegenwärtig für zukünftig mögliche militärische Anwendungen in den USA untersucht werden, vermitteln Entwicklungsprogramme der DARPA. Eine Auswertung hinsichtlich der Relevanz für UMS wurde von Altmann (2008) durchgeführt und durch das TAB aktualisiert. Beachtenswert ist das große Gewicht der Biologie (inkl. Biotechnik und Bionik), aber auch Informationstechnik, Kognitionswissenschaft, Elektronik/Photonik sowie Mikrosystemtechnik werden intensiv erforscht (Anhang).

EINSATZSZENARIEN UND SYSTEMENTWICKLUNGEN IN DER ZUKUNFT – EIN AUSBLICK 3.

KOMPLEXITÄT VON MISSIONEN UND SYSTEMEN 3.1

Im Zuge weiterer technischer Fortschritte werden unbemannte Systeme zunehmend komplexe Missionen durchführen können. Die Experten von DFKI/RDE (2008, S. 47 ff.) beschreiben diese Entwicklung anhand dreier stark typisierter, aufeinander aufbauender Funktionalitätsstufen, die jeweils unterschiedliche Grundanforderungen erfüllen müssen (Tab. 16).

TAB. 16 UMS-FUNKTIONALITÄTSSTUFEN MIT WACHSENDER KOMPLEXITÄT

	Stufe 1 (Unterstützung von Mannschaften und Systemen)	Stufe 2 (teilweiser Ersatz von Mannschaften und Systemen)	Stufe 3 (vollständiger Ersatz von Mannschaften und regulären Systemen)
Robustheit	Betrieb unabhängig von Wetter, Klima, Tageszeit und Geländebedingungen	Betrieb unabhängig von Wetter, Klima, Tageszeit und Geländebedingungen	Betrieb unabhängig von Wetter, Klima, Tageszeit und Geländebedingungen
Handhabbarkeit	möglichst einfache Bedienung (nicht nur von Spezialisten) unter erschwerten Einsatzbedingungen (z. B. Gefechtssituationen)	möglichst einfache Bedienung (nicht nur von Spezialisten) unter erschwerten Einsatzbedingungen (z. B. Gefechtssituationen)	möglichst einfache Bedienung (nicht nur von Spezialisten) unter erschwerten Einsatzbedingungen (z. B. Gefechtssituationen)
Kompatibilität mit bestehender Technologie	z. B. Betrieb mit gängigen Treibstoffen, Kommunikationsinfrastrukturen	z. B. Betrieb mit gängigen Treibstoffen, Kommunikationsinfrastrukturen	z. B. Betrieb mit gängigen Treibstoffen, Kommunikationsinfrastrukturen
teilautonome Fortbewegung		autonome Fortbewegung in vorgegebenem Rahmen; Selbsterhalt	autonome Fortbewegung in vorgegebenem Rahmen; Selbsterhalt
teilautonome Entscheidungsfähigkeit		z. B. gezielte Fotografie eines Objekts oder Alarm bei Überschreitung eines Grenzwerts	z. B. gezielte Fotografie eines Objekts oder Alarm bei Überschreitung eines Grenzwerts
Betriebssicherheit		Fortbewegung ohne Schaden für unbeteiligte Personen und das System selbst (selbstständiges Erkennen von Hindernissen)	Fortbewegung ohne Schaden für unbeteiligte Personen und das System selbst (selbst ständiges Erkennen von Hindernissen)
Fähigkeit zum autonomen Handeln			u. a. Fähigkeit, auf veränderte Umweltbedingungen adäquat zu reagieren aus Wechselwirkungen zwischen eigenem Verhalten und Umwelt lernen
Fähigkeit zur Teamarbeit			Fähigkeit, in Maschine-Maschine-Teams und Mensch-Maschine-Teams zu kooperieren

Quelle: nach DFKI/RDE 2008, S. 47 ff.

- Funktionalitätsstufe 1 haben (ferngesteuerte) Systeme erreicht, die von Mannschaften und anderen Systemen unterstützend als »verlängerter Arm« genutzt werden. Die Personalstärke der Truppe bzw. der Besatzung wird nicht verringert und ggf. durch zusätzliches Bedienungspersonal erhöht. Um die Funktionalitätsstufe 1 zu erreichen, müssen UMS Grundanforderungen in den Bereichen Robustheit, Handhabbarkeit und Kompatibilität mit eingeführter Technologie erfüllen.
- UMS der Funktionalitätsstufe 2 haben eine begrenzte Fähigkeit zu autonomem Verhalten und eine vereinfachte Bedienbarkeit. Dadurch können mehr UMS von weniger Bedienpersonal überwacht werden. Bestimmte Aufgaben können komplett von einem UMS übernommen werden, sodass Mannschaften und Besatzungen von Systemen teilweise durch hochspezialisierte UMS ersetzt werden können. Neben den für die Funktionalitätsstufe 1 definierten Anforderungen muss ein UMS der Funktionalitätsstufe 2 zusätzliche Anforderungen erfüllen: teilautonome Fortbewegung, teilautonome Entscheidungsfähigkeit sowie Betriebssicherheit (insbesondere die Fähigkeit zum selbstständigen Erkennen von Hindernissen und zur Durchführung entsprechender Ausweichmanöver).
- In der Funktionalitätsstufe 3 ist ein UMS in der Lage, auch komplexe Aufgaben vollständig autonom oder im Team mit anderen (unbemannten) Systemen zu lösen. Mannschaften und Besatzungen von Systemen können vollständig durch entsprechende UMS ersetzt werden. Neben den für die Funktionalitätsstufen 1 und 2 definierten Anforderungen muss ein UMS der Funktionalitätsstufe 3 zusätzlich die Fähigkeiten zum autonomen Handeln und zum Agieren im Team haben.

Wann UMS die beschriebenen Funktionalitätsstufen erreichen, hängt von der Entwicklung in den zuvor beschriebenen systemrelevanten Technologiefeldern ab. Die drei Funktionalitätsstufen repräsentieren auch kein lineares Entwicklungsmodell, an dessen Ende vollständig autonome Systeme stehen. Vielmehr wird sich eine Vielzahl von Systemen unterschiedlicher Autonomiegrade herausbilden, die im Verbund mit anderen Systemen und der Truppe ihre Missionen ausführen. Auch wird ein möglichst hoher Autonomiegrad kein Ziel an sich sein, sondern in funktionaler Abhängigkeit von Einsatzszenarien und verfügbaren Fähigkeiten zu definieren sein (Kap. IV.1.7).

ZUKÜNFTIGE SYSTEME IN AUSGEWÄHLTEN SZENARIEN 3.2

Im Folgenden wird der Versuch eines Ausblicks in die mittel- bis langfristige Zukunft unternommen. Dabei wird auf die »Entwicklungsprognosen« der Gutachter von DFKI/RDE (2008, S. 76 ff.) zurückgegriffen. Gemäß der Beauftragung durch das TAB haben die Experten aus Wissenschaft und Industrie

- ausgewählte *Einsatzszenarien* beschrieben,
- die hierfür aus Sicht der Streitkräfte notwendigen *Anforderungen* an die einzusetzenden wehrtechnischen Systeme definiert,
- die relevanten *Technologiefelder* daraufhin geprüft, wann welche dieser Felder und Technologien einen den militärischen Anforderungen gemäßen Stand erreicht haben sowie
- in einem letzten Schritt Beispiele für kurz-, mittel- und langfristige *Systementwicklungen* vorgestellt.

Für die Fähigkeitskategorien Nachrichtengewinnung und Aufklärung sowie Schutz wird – jeweils anhand von zwei Einsatzszenarien und zwei Systementwicklungsbeispielen – ein Blick in die Zukunft gewagt.

AUFKLÄRUNG FÜR DEN EINSATZ 3.2.1

EINSATZSZENARIO

Schlecht einsehbares Gelände bedeuten ein hohes Risiko für Mannschaften und Gerät im Einsatz. Ziel des Einsatzes eines unbemannten Systems ist die Gewinnung von möglichst umfassenden und aktuellen Informationen über das Einsatzgebiet, ohne dabei Personal zu gefährden. Mobile und flexibel einsetzbare Aufklärungssysteme, die möglichst leicht verlegbar sowie einfach und schnell zu handhaben sind sowie die erforderliche Reichweite und Einsatzdauer haben, tragen dazu bei, frühzeitig und aus sicherer Distanz Lageinformationen über ein Gebiet zu erhalten und ermöglichen eine kontinuierliche Beobachtung. Zuverlässige und präzise Navigation und Lokalisierung des UMS sind dabei wichtig, um auch in komplexen Umgebungen ein genaues Bild der Lage zu erhalten und die gewonnenen Daten positionsbezogen einzuordnen (DFKI/RDE 2008, S. 78).

SYSTEMANFORDERUNGEN

- einfache und zuverlässige Bedienung (1)
- Robustheit (Wetter, Behandlung durch Nutzer, Beschuss) (2)
- möglichst präzise Navigation und Lokalisation (3)
- Reichweite und Ausdauer (4)
- kompakt und leicht (5)
- gute Tarnung (6)
- vielfältige Sensordaten: optisch (sichtbar/infrarot), chemisch, Radioaktivität, Audio, Magnetismus, Funk (7)
- komplexes Einsatzgebiet (8)

RELEVANTE TECHNOLOGIEFELDER

Die erforderlichen Technologien und ihre zeitliche Entwicklungsperspektive in Abhängigkeit von den Systemanforderungen sind in Tabelle 17 dargestellt. In

dieser Tabelle (und in den folgenden) sind im linken Teil die relevanten Technologiefelder aufgeführt. Jede Technologie ist durch die jeweilige zeitliche Entwicklungsperspektive (kurzfristig/3 bis 5 Jahre [K], mittelfristig/5 bis 15 Jahre [M], langfristig/> 15 Jahre [L]) in Abhängigkeit von den einzelnen Systemanforderungen (1 bis 8) charakterisiert.

TAB. 17 TECHNOLOGIEFELDABHÄNGIGKEITSMATRIX ZUM SZENARIO »AUFKLÄRUNG DURCH UMS ZUM SCHUTZ VON MANNSCHAFTEN UND GERÄT IM EINSATZ«

Technologiefeld/Technologie	Systemanforderungen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Antriebssystem/Konstruktionsprinzip								
Ketten	K	K		M	L	K		L
laufende Systeme	M	M		L	K	K		M
hybride Bodenfahrzeuge	M	K		M	K	M		K
Starrflügler	K	K		K	K	M		M
Drehflügler	M	M		L	K	L		M
Schlagflügler	L	L		M	L	K		M
Energieversorgung								
Akkumulatoren/Kondensatoren	K	M		M	M			K
Brennstoffe	K	K		K	K			L
Umgebungsenergie	L	L		L	M			M
Leitsystem/Planungssystem								
ferngesteuert	K			L				L
semiautonom	K			M				M
autonom	L			L				L
Navigation								
intrinsische Positionsbestimmung		L	L	K				K
extrinsische Positionsbestimmung		K	M	M				M
Kommunikation								
direkt-kabellos				L				K
indirekt-kabellos				K				M
Nutzsensorik								
optisch (sichtbar/infrarot)			M				K	M
chemisch							M	L
Radioaktivität							K	L
Audio			M				K	K
Magnetismus			K				M	M
Funk			K				L	L

Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 79

Die Einträge stellen nach DFKI/RDE (2008, S. 77) den »Baukasten« dar, aus dem die Systementwicklungsbeispiele »aufgebaut « und in ihren wichtigsten Eigenschaften charakterisiert werden: Wann ein System mit den spezifizierten Eigenschaften einsetzbar ist, hängt ab von der »Verfügbarkeit der am weitesten in der Zukunft liegenden Teilkomponente. Beispielsweise mag ein Antrieb schon kurzfristig verfügbar sein, aber das gewünschte Sensorsystem erst mittelfristig, sodass auch das Gesamtsystem erst mittelfristig zur Verfügung stehen wird« (DFKI/RDE 2008, S. 77).

SYSTEMENTWICKLUNGSBEISPIELE

Multi-Terrain-Hybrid-Rover (mittelfristig)

- Einsatz von Fahrzeugen und Trupps in beliebiger Umgebung, auch im Flachwasser von Schiffen aus
- Rad-Bein-Hybrid mit flexiblen Elementen im Chassis, wasserdicht mit adaptierbarem Auftrieb für die Surfzone, Leichtbaukonstruktion
- < 10 kg, 0,5 m^2 Grundfläche
- Energie durch $LiFePO_4$-Akkumulatoren, 10 Stunden Einsatzdauer
- semiautonom:
  - selbstständiges Fahren auch in schwerem Gelände und in anthropogenen Umgebungen (Treppen etc.)
  - Inertialnavigation, visuelle Landmarken, Satellitennavigation (wenn verfügbar)
  - energiebewusste Navigation (z. B. Umfahren energieintensiver Hindernisse)
  - selbstständiges Abfahren flexibler Routen und Reaktion auf Umweltveränderungen mit Rückmeldung
  - Eingriffsmöglichkeit eines Operators in die autonome Steuerung über virtuelle Immersion

Polymorpher Mikroschlagflügler (langfristig)

- Einsatz einzeln oder im Schwarm zur Überwachung und Aufklärung in Innenräumen oder bei wenig Wind im Freien. Kann bei Bedarf landen und auf dem Boden kriechen
- Schlagflügler in Insektenform mit elektrostatisch aktivem Polymerantrieb, extremer Leichtbau
- < 15 g, Hemdtaschengröße
- Energie durch Ultrananokondensatoren, Flügel aus organischer Fotovoltaikfolie. Theoretische Einsatzdauer bei Licht mit autonomen Ladephasen unbegrenzt, im Dunklen maximal 30 Minuten
- autonom:
  - selbstständiges Fliegen und Kriechen
  - Selbsterhaltungstrieb und autonome Sicherung des Energiehaushalts

- rein intrinsische Navigation, bei Einsatz von mehreren Systemen Schwarmnavigation
- selbstständiges Erfüllen von umgangssprachlich definierbaren Missionszielen (z. B. »Überprüfe das Haus«)

WEITRÄUMIGE AUFKLÄRUNG 3.2.2

EINSATZSZENARIO

Zur Gewinnung von Informationen über die Lage in umkämpftem oder zukünftig umkämpftem Gebiet ist die Aufklärung notwendig. Da durch Satelliten, bedingt durch ihre Flughöhe und Wettereinfluss, nicht alle benötigten Informationen gewonnen werden können, wird eine Aufklärung vor Ort benötigt. Die aufklärenden Systeme agieren dabei örtlich und zeitlich weit vor dem Einsatz. Sie müssen sehr unauffällig sein, um das Ziel nicht zu warnen, dennoch aber so viel Informationen wie möglich zu sammeln. Dabei kommen alle Arten von Systemen zum Einsatz: Fliegende Systeme können weite Strecken überbrücken, sind aber leichter detektierbar; am Boden agierende Systeme können Gebiete über einen längeren Zeitraum beobachten, sind aber in ihrer Geschwindigkeit und damit in ihrem Suchgebiet eingeschränkt; schwimmende Systeme können unter Wasser agieren und dort Informationen sammeln. Alle Systeme müssen über möglichst gute Sensorik verfügen und sollten während eines Einsatzes nur wenig kommunizieren, um nicht entdeckt zu werden (DFKI/RDE 2008, S. 82).

SYSTEMANFORDERUNGEN

- Tarnung (1)
- Robustheit (Wetter, Behandlung durch Nutzer, Beschuss) (2)
- möglichst präzise Navigation und Lokalisation (3)
- möglichst große Reichweite und Ausdauer (4)
- vielfältige Sensordaten: optisch (sichtbar/infrarot), chemisch, Radioaktivität, Audio, Magnetismus, Funk (5)
- komplexes Einsatzgebiet (Terrain, Klima) (6)
- Fähigkeit zur Anpassung des Missionsprofils (7)

RELEVANTE TECHNOLOGIEFELDER

Die erforderlichen Technologien und ihre zeitliche Entwicklungsperspektive in Abhängigkeit von den Systemanforderungen sind in Tabelle 18 dargestellt.

TAB. 18 **TECHNOLOGIEFELDABHÄNGIGKEITSMATRIX ZUM SZENARIO »WEITRÄUMIGE AUFKLÄRUNG«**

Technologiefeld/Technologie	Systemanforderungen						
	1	2	3	4	5	6	7
Antriebssystem/Konstruktionsprinzip							
Ketten	L	K		M		L	
laufende Systeme	L	M		L		M	
hybride Bodenfahrzeuge	L	K		M		K	
Starrflügler	M	K		K		M	
Drehflügler	L	M		L		M	
Schlagflügler	K	L		M		M	
optimierte Schrauben	K	K					
Flossensysteme	L	L		L		L	
selbstreinigende Oberflächen	L	L		L		L	
Aerostate	M	M		M		M	
Near-Space-Aerostate	L	L		L		L	
Energieversorgung							
Akkumulatoren/Kondensatoren		M		M		K	
Brennstoffe		K		K		L	
Umgebungsenergie		L		L		M	
Leitsystem/Planungssystem							
ferngesteuert				L		L	L
semiautonom				M		M	M
autonom				L		L	L
Navigation							
intrinsische Positionsbestimmung		L	L	K		K	
extrinsische Positionsbestimmung		K	M	M		M	
Kommunikation							
direkt-kabellos	L			L		K	
indirekt-kabellos	K			K		M	
Nutzsensorik							
optisch (sichtbar/infrarot)			M		K	M	
chemisch					M	L	
Radioaktivität					K	L	
Audio			M		K	K	
Magnetismus			K		M	M	
Funk			K		L	L	

Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 83

SYSTEMENTWICKLUNGSBEISPIELE

Low-Power-Langstrecken-Aufklärungsdrohne (mittelfristig)

- weiträumige Aufklärung über feindlichem Gebiet in mittlerer bis hoher Höhe
- Motorsegler mit elektrischem Hilfspropeller
- Energie durch Nanoakkumulatoren mit hocheffizienten Solarzellen auf den Flügeln
- komplett aus Verbundfaserwerkstoffen mit extrem niedriger Radar- und Infrarotsignatur
- 150 km/h schnell, ungefähre Einsatzdauer 30 Tage (bei geeignetem Wetter)
- semiautonom:
  - selbstständiges Erkunden eines vordefinierten Gebietes
  - semiautonomes Starten durch Schleppflugzeug und autonomes Landen am Boden, semiautonom bei Einsatz vom Flugzeugträger
  - selbstständiges Tarnen in Wolkenformationen
  - Umfliegen von Schlechtwettergebieten nach eigenständiger Detektion durch einen Operator
  - Auswertung von Daten und Rückmeldung an die Leitzentrale bei vorher definierten Randbedingungen
  - Trägheitsnavigationssystem für »Mitkoppeln« bei Ausfall der extrinsischen Navigation (Galileo/DGPS)
  - missionsbasierte Planung mit erweiterten reaktiven Komponenten bei Entdeckung von vorher definierten Zielen
  - virtuelle Immersion zur Steuerung/Statusanzeige bei Kontrolle durch einen Operator
- indirekte kabellose Breitbandkommunikation über Satellit, digital verschlüsselt, direkte kabellose Verbindung beim Starten und Landen
- Sensorik: Kamera (sichtbar/infrarot/Restlicht), Audio, Radioaktivität, Magnetismus

AUV-Rudel zur Aufklärung unter Wasser (mittelfristig)

- Einsatz im Rudel von bis zu zehn Einheiten zur parallelen Erkundung von Gefahren am Seeboden und zur Erfassung seiner Topologie
- heterogenes Rudel mit spezialisierten Sensoren
- hydrodynamisch optimierte Form mit elektrischem Schraubenantrieb
- Energie durch Nanoakkumulatoren
- 10 kn schnell, ungefähre Einsatzdauer 36 Stunden
- Länge 2 m, Gewicht rund 300 kg
- autonom:
  - selbstständiges Erkunden eines vordefinierten Gebietes in Meandern im Rudel durch Ausschwärmen
  - Kommunikation über kurze Sonarimpulse

  - Aussetzen von Schiffen, Rückkehr und Auftauchen an einem vorgegebenen Ort
  - hochgenaues Trägheitsnavigationssystem, Relokalisation über Kartografierung des Seebodens, extrinsische Navigation beim Auftauchen (Gallileo/DGPS), Rudelnavigation
  - missionsbasierte Planung
  - Reaktion auf Besonderheiten/Anomalien in den Sensorsignalen durch Kommunikation an Spezialisten im Rudel
  - Rückmeldung über einzelnes Fahrzeug, das in sicheres Gebiet zurückkehrt
- indirekte kabellose Breitbandkommunikation über Satellit, digital verschlüsselt im aufgetauchten Zustand, direkte kabellose Verbindung über Unterwassermodem in der Nähe des Mutterschiffs
- Sensorik: Sonar, Radioaktivität, Magnetismus, chemische Sensoren

ÜBERWACHUNG UND SCHUTZ VON LIEGENSCHAFTEN 3.2.3

EINSATZSZENARIO

Überwachung und Schutz von sicherheitsrelevanten Liegenschaften und Anlagen wie Feldlagern, Flugplätzen und Häfen sind eine kritische Komponente bei militärischen Einsätzen. Durch den Einsatz von unbemannten Systemen kann die Sicherheit erhöht, und es kann fehlerhaftes Verhalten des Wachpersonals durch Übermüdung, Langeweile und Unaufmerksamkeit reduziert werden. UGVs können selbstständig patrouillieren und auch Aufgaben wie Sicherheitskontrollen übernehmen, wodurch das Personal entlastet und besser geschützt wird. Schwimmende und tauchende Fahrzeuge schützen in Häfen oder auf Reede liegende Schiffe vor Anschlägen, und fliegende Systeme überwachen das Umfeld von Anlagen aus sicherer Distanz (DFKI/RDE 2008, S. 90).

SYSTEMANFORDERUNGEN

- einfache und zuverlässige Bedienung (1)
- Robustheit (Wetter, Behandlung durch Nutzer, Beschuss) (2)
- robuste Navigation und Lokalisation (3)
- lange Einsatzzeit (4)
- gute Tarnung (5)
- anpassungsfähig an unterschiedliches Gelände und wechselnde Umweltbedingungen (6)

RELEVANTE TECHNOLOGIEFELDER

Die erforderlichen Technologien und ihre zeitliche Entwicklungsperspektive in Abhängigkeit von den Systemanforderungen sind in Tabelle 19 dargestellt.

TAB. 19 TECHNOLOGIEFELDABHÄNGIGKEITSMATRIX ZUM SZENARIO »ÜBERWACHUNG UND SCHUTZ VON LIEGENSCHAFTEN«

Technologiefeld/Technologie	Systemanforderungen					
	1	2	3	4	5	6
Antriebssystem/Konstruktionsprinzip						
Ketten	K	K		M	K	M
Beine (Laufroboter)	M	M		L	K	K
Hybridsysteme	M	M		M	M	K
Starrflügler	M	K		K	M	K
Drehflügler	L	M		L	L	M
Schlagflügler	K	L		M	K	L
optimierte Schrauben	K	K		K	K	L
Flossensysteme	L	L		L	L	L
selbstreinigende Oberflächen	L	L		L	L	L
aerodynamisch optimierte Aerostate	M	M		M	L	K
Energieversorgung						
Akkumulatoren/Kondensatoren	K	M		M		
Brennstoffe	K	K		K		
Umgebungsenergie	L	L		L		
Leitsystem/Planungssystem						
ferngesteuert	M			L		
semiautonom	M			M		
autonom	L			L		
Navigation						
intrinsische Positionsbestimmung		L	L	K		
extrinsische Positionsbestimmung		K	M	M		
Kommunikation						
direkt-kabellos				L		
indirekt-kabellos				K		
Nutzsensorik						
optisch (sichtbar/infrarot)			M			
chemisch						
Radioaktivität						
Audio			M			
Magnetismus			K			
Funk			K			

Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 90 f.

SYSTEMENTWICKLUNGSBEISPIELE

Tiefffliegende Kleinstdrohne (mittelfristig)

- kleiner Starrflügler für die dauerhafte Überwachung einer Liegenschaft
- Spannweite < 3 m
- Eigengewicht < 5 kg
- Energie durch Akkumulatoren ($LiFePO_4$)
- Motorsegler mit elektrischem Hilfspropeller
- Geschwindigkeit max. 40 km/h
- semiautonom
  - selbstständiges Kreisen über der Liegenschaft
  - Navigation über lokales Referenzsignal
  - autonome Erkennung von Anomalien und Meldung über das Kommunikationssystem
- Kommunikation über verschlüsselten Kurzstreckenfunk
- Sensorik: (Multi-)Kamera (sichtbar/infrarot/Restlicht), Radar

Integriertes Unterwasserschutzsystem (mittel-bis langfristig)

- Kombination aus mindestens einem Trägerbodenfahrzeug mit mindestens zwei mobilen, autonomen Sonden in der Wassersäule
- Eigengewicht Trägersystem 200 bis 300 kg, Sonde rund 20 kg
- Energie durch Kabelanbindung am Trägerfahrzeug, Sonden Nanoakkumulatoren (Nachladen am Trägerfahrzeug)
- elektrischer Antrieb durch breite Ketten mit niedrigem Profil (Trägerfahrzeug), strömungsoptimierte Form mit Flossenantrieb
- Geschwindigkeit < 3 km/h (Trägerfahrzeug), 20 km/h (Sonde)
- autonom
  - selbstständiges Patrouillieren im Gebiet der Hafeneinfahrt
  - autonome Erkennung von Eindringlingen, Verifikation durch Aussenden der Sonde und Meldung an Zentrale
  - Sonde fährt autonom zu vom Trägerfahrzeug gemeldeten Kontakt und inspiziert diesen mit Nahbereichssensorik
- Kommunikation über Glasfaserkabelanbindung (Trägerfahrzeug • Zentrale), Dockingstachel (Trägerfahrzeug • Sonde)
- Sensorik: bildgebendes Mehrfrequenz-multi-beam-Sonar, Magnetometer (Trägerfahrzeug), hochauflösende Kamera, Sonar (Sonde)

KAMPFMITTELRÄUMUNG 3.2.4

EINSATZSZENARIO

Minen, ob an Land oder zu Wasser, sind sowohl während des Einsatzes als auch danach eine große Gefahr für Soldaten und zivile Bevölkerung. Detektion und

Räumung von Minen werden durch den Einsatz von mobilen Robotersystemen mittelfristig deutlich beschleunigt. Dabei verteilen sich Teams von unbemannten Systemen im jeweiligen Einsatzgebiet, um eine möglichst schnelle Räumung zu ermöglichen. Der eventuelle Ausfall von Systemen wird dynamisch vom Rest des Teams kompensiert, sodass ein hohes Maß an Ausfallsicherheit gewährleistet ist.

SYSTEMANFORDERUNGEN

- größere Zahl relativ kleiner, robuster und preiswerter Einheiten (1)
- dem jeweiligen Einsatzgebiet angepasste bzw. anpassbare Mobilität (2)
- eigenständige lokale Kommunikation zwischen den Einheiten (3)
- Kompensation ausgefallener Einheiten (4)
- präzise Lokalisation zur genauen Bestimmung eines Fundorts (5)
- Fähigkeit zur Bergung bzw. Sprengung von Minen (6)
- Ausbringung aus der Luft (7)
- geeignete Sensorik zum Aufspüren der Minen (8)

RELEVANTE TECHNOLOGIEFELDER

In Tabelle 20 sind die erforderlichen Technologien und ihre zeitliche Entwicklungsperspektive in Abhängigkeit von den Systemanforderungen dargestellt.

SYSTEMENTWICKLUNGSBEISPIELE

Mikro-Laufmaschine (mittelfristig)

- kleine, sehr geländegängige Laufmaschine zum Einsatz im Schwarm in einem verminten Gebiet
- Detektion der Minen über Metalldetektoren oder chemische Sensoren/Kamerasysteme
- autonome Verteilung der Einheiten im Suchgebiet
- Freilegung gefundener Minen durch den Einsatz der Beine als Grabwerkzeug
- Gewicht < 5 kg, Grundfläche DIN A3
- Energieversorgung durch $LiFePO_4$-Akkumulatoren
- Einsatzdauer 3 Stunden

Mini-AUV (mittel- bis langfristig)

- kleine autonome Unterwasserfahrzeuge, die in einem verminten Seegebiet zum Einsatz kommen und durch Luftfahrzeuge ausgebracht werden
- Detektion der Minen über Sonar und Kamerasysteme
- Verteilung der Einheiten im Suchgebiet autonom
- Sprengung der gefundenen Minen durch Anbringung einer Sprengladung
- Gewicht < 25 kg, Länge <1 m
- Energieversorgung durch $LiFePO_4$-Akkumulatoren
- Einsatzdauer 5 Stunden

TAB. 20 **TECHNOLOGIEFELDABHÄNGIGKEITSMATRIX ZUM SZENARIO »KAMPFMITTELRÄUMUNG«**

Technologiefeld/Technologie	Systemanforderungen							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Antriebssystem/Konstruktionsprinzip								
Ketten	K	K				M	K	
Beine (Laufroboter)	M	M				M	M	
Hybridsysteme	K	K				M	K	
Flossenantrieb	L	L				L	L	
Energieversorgung								
Akkumulatoren/Kondensatoren	K							
Brennstoffe	K							
Umgebungsenergie	L							
Leitsystem/Planungssystem								
ferngesteuert	K			K		K		K
semiautonom	K			M		M	M	M
autonom	M			L		L	L	L
Navigation								
intrinsische Positionsbestimmung	M			M	M		M	
extrinsische Positionsbestimmung	K			K	K		K	
Kommunikation								
direkt-kabellos	K		K					
indirekt-kabellos	M		M					
Nutzsensorik								
optisch (sichtbar/infrarot)								K
chemisch								M
Radioaktivität								
Audio								
Magnetismus								K
Funk								

Quelle: DFKI/RDE 2008, S. 98

ÖKONOMISCHE ASPEKTE UNBEMANNTER SYSTEME V.

MÄRKTE 1.

UMSÄTZE

Der weltweite (durch Forschung, Entwicklung und Produktion induzierte) Umsatz mit UMS wurde von Altmann et al. (2008, S. 15) für 2006 auf ca. 4,1 Mrd. Euro geschätzt (Tab. 21).

TAB. 21 SCHÄTZUNG WELTWEITER UMS-UMSÄTZE IN MRD. EURO (2006)

System	militärisch	zivil	insgesamt
UAV	2,9	0,1	3,0
USV/UUV	0,2	0,5	0,7
UGV	0,3	0,1	0,4
Summe	*3,4*	*0,7*	*4,1*
zum Vergleich: Satelliten	25	15	40

Quelle: Altmann et al. 2008, S. 115; Schätzungen auf der Basis verschiedener Quellen

Militärischer Markt

Den größten Anteil am gesamten Umsatz mit militärischen unbemannten Systemen von 3,4 Mrd. Euro hatten zu diesem Zeitpunkt UAVs mit 2,9 Mrd. Euro. USVs/UUVs und UGVs wurden dagegen nur in geringem Umfang von Streitkräften gekauft. Der Umsatz von 0,2 Mrd. Euro (für USVs/UUVs) bzw. 0,3 Mio. Euro (für UGVs) ergab sich hier hauptsächlich durch Forschungs- und Entwicklungsaufträge.

Überhaupt sind Forschung und Entwicklung in allen Teilmärkten von großer Bedeutung für die Generierung von Umsätzen. Allerdings führt inzwischen bei militärischen Systemen die Beschaffung zu Umsätzen in ähnlicher Größenordnung wie die für Forschung und Entwicklung. Es ist anzunehmen, dass dieser Trend in diesem Segment anhalten wird. Ein Indiz dafür sind die vom Weißen Haus vorgelegten Verteidigungshaushaltsansätze für unbemannte Systeme (»President's Budget«). Die Planungen für 2009 bis 2013 sehen wachsende und deutlich höhere Mittel für Beschaffung als für Forschung, Entwicklung, Erprobung und Auswertung vor, die ihrerseits (bei UAS u. UGV) zurückgehen (Tab. 22).

TAB. 22 HAUSHALTSANSÄTZE DES DEPARTMENT OF DEFENSE FÜR 2009 BIS 2013 FÜR UNBEMANNTE SYSTEME NACH STADIEN (IN MIO. U.S.-DOLLAR)

Systeme	Stadium	2009	2010	2011	2012	2013
UAS	FEEA	1.347,0	1.305,1	1.076,4	894,0	719,5
	B	1.875,5	2.006,1	1.704,7	1.734,3	1.575,2
	BuW	154,3	251,7	249,0	274,9	320,2
UAS insgesamt		3.376,8	3.562,9	3.030,1	2.903,2	2.614,9
UGV	FEEA	1.291,2	747,5	136,2	108,7	68,9
	B	33,4	42,3	53,5	59,5	21,1
	BuW	2,9	3,9	3,0	12,8	10,1
UGV insgesamt		1.327,5	793,7	192,7	181,0	100,1
USV/UUV	FEEA	57,3	73,8	63,2	70,1	76,9
	B	56,7	78,4	95,9	91,6	103,7
	BuW	5,0	4,5	11,3	13,5	13,9
USV/UUV insgesamt		119,0	156,7	170,4	175,2	194,5
Summe		*4.823*	*4.513*	*3.393*	*3.259*	*2.910*

FEEA: Forschung, Entwicklung, Erprobung, Auswertung
B: Beschaffung
BuW: Betrieb und Wartung

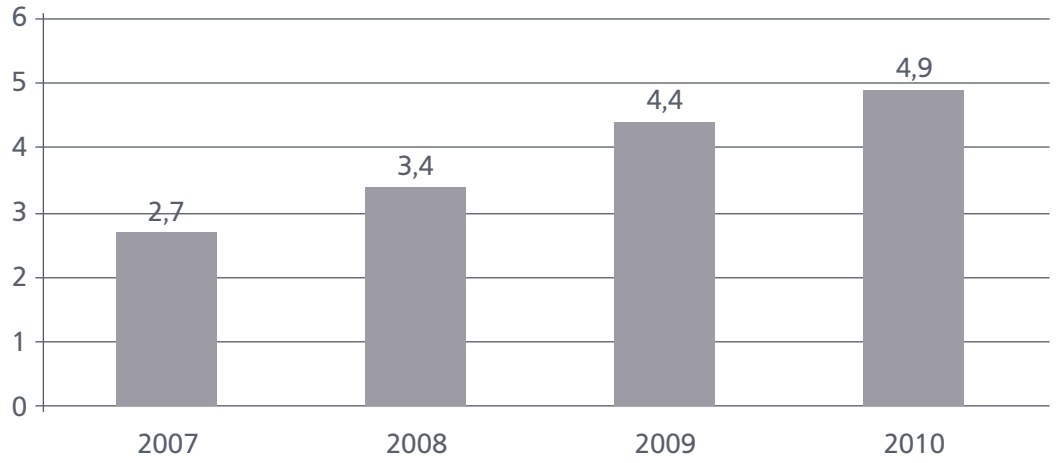
Quelle: DoD 2009, S. 4

ZIVILER MARKT

Nach wie vor ist der Umsatz, der mit zivilen *UAVs* erzielt wird, gering. In einer älteren Studie des Marktforschungsunternehmens Frost&Sullivan aus dem Jahre 1998 wurde der zivile Markt auf 0,08 Mrd. U.S.-Dollar Umsatz pro Jahr geschätzt. Altmann et al. (2008, S. 115) taxieren den Umfang des zivilen Marktes im Jahre 2006 auf etwa 0,1 Mrd. Euro. Die Erhebungen und Marktprognosen der Teal Group (2007 bis 2010) zeigen für den Gesamtmarkt der fliegenden Systeme eine kontinuierliche Aufwärtsentwicklung in den letzten Jahren (Abb. 28).

Der Umsatz von zivilen *USV/UUV* ist deutlich höher als der von militärischen. Auf der Grundlage einer Marktstudie von VisionGain schätzten Altmann et al. (2008, S. 117) den Umsatz von USV/UUV im Jahr 2006 für zivile Verwendungen auf 0,5 Mrd. Euro.

ABB. 28 UAV-WELTMARKTUMSATZ IN MRD. U.S.-DOLLAR



Quelle: Teal Group 2007, 2008, 2009 u. 2010

Insbesondere die Öl- und Gasindustrie – zunehmend auch Firmen, die auf dem Meeresboden nach Bodenschätzen suchen – sind wichtige Nachfrager. Der Markt wird noch von drahtgelenkten zivilen Unterwasserrobotern, häufig als »Remotely Operated Vehicles« (ROV) bezeichnet, dominiert; selbststeuernde »Autonomous Underwater Vehicles« (AUV) besetzen zurzeit erst eine Nische. Das Verhältnis des Umsatzes von ROVs zu AUVs im kommerziellen Bereich beträgt nach Altmann et al. (2008, S. 117) etwa 10:1. Nach Nugent (2009) gibt es weltweit etwa 5.800 ROV-Systeme und 400 AUV-Systeme. Er nimmt an, dass etwa 70 bis 80 % davon in der Privatwirtschaft zum Einsatz kommen.

Die Umsätze für *UGVs* lagen 2006 mit etwa 0,1 Mrd. Euro deutlich niedriger als die im militärischen Bereich (0,3 Mrd. Euro). Im zivilen Bereich werden Umsätze beispielsweise mit Fahrzeugen, die zur Bombenentschärfung und in Katastrophenfällen eingesetzt werden sollen, oder mit Aufträgen zur Forschung und Entwicklung innovativer UGVs erzielt.

Aufgrund der sehr unsicheren und oft intransparenten Datenlage sind die zuvor erfolgten Hinweise nur als grobe Orientierung zu verstehen. Mit der gebotenen Vorsicht lässt sich aber sagen, dass der Gesamtmarkt für unbemannte Systeme von den UAVs dominiert wird und im letzten Jahrzehnt kontinuierlich angewachsen ist. Während im UAV-Sektor der zivile Anteil marginal geblieben ist, kann er für bodengebundene Systeme auf etwa ein Viertel und für marine Systeme auf etwa drei Viertel taxiert werden (Altmann et al. 2008, S. 115).

MARKTSTRUKTUREN IM UAV-SEKTOR

Nach van Blyenburgh (2010, reference section) wurden 2010 in 51 Ländern von insgesamt 500 Produzenten/Entwicklern 1.244 UAVs produziert.

Der globale Markt für UAVs wird von U.S.-amerikanischen Firmen beherrscht. Eine herausragende Rolle spielen auch israelische Firmen. Dabei dominieren drei Unternehmen (General Atomics, AAI, Northrop Grumman).

Betrachtet man den Markt nach dem Wert der produzierten Systeme, ergeben sich für die USA etwa 2 Mrd. U.S.-Dollar (von weltweit 2,9 Mrd. U.S.-Dollar); der europäische Markt repräsentiert etwa 0,3 Mrd U.S.-Dollar (Teal Group 2010, S. 3). Im aktuellen Teal-Group-Bericht wird erwartet, dass auch in der kommenden Dekade die USA der bestimmende Treiber der Entwicklung sein werden. Ihr Anteil an den globalen FuE-Ausgaben wird auf 85 %, der Anteil der beschafften Systeme etwa 60 % eingeschätzt (Teal Group 2010, S. 2). Die U.S.-Dominanz im UAV-Markt resultiert einmal aus dem Volumen des U.S.-Marktes selbst, der für ausländische Konkurrenten nicht gerade offen ist (Wezemann 2007, S. 12), aber auch aus dem Übergewicht bei besonders komplexen und technisch anspruchsvollen Systemen. Nach den USA sind (bei der Zahl hergestellter und in der Entwicklung befindlicher Systeme) Israel, Großbritannien, Frankreich und Russland, die bedeutendsten Standorte.

Im Zuge einer Anhörung der Europäischen Kommission ergab sich, dass in 20 europäischen Ländern durch 168 UAV-Produzenten und -Entwicklern 313 Systeme hergestellt bzw. entwickelt werden – davon 252 unter und 61 Systeme über 150 kg. Gut 30 % der Systeme unter 150 kg gehörten dabei in die Gruppe mit einem MTOW zwischen 25 und 150 kg (European Commission 2009, S. 13 f.)[53]

Zu den deutlich kleineren Märkten für USV/UUV und UGV lassen sich nur wenig belastbare Informationen finden. Es ist aber plausibel anzunehmen, dass auch hier U.S.-amerikanische Firmen die größten Umsätze aufweisen

HANDEL

Der Umfang des *internationalen Handels* mit großen UAVs ist verglichen mit dem für bemannte Flugzeuge zurzeit eher gering.[54]

Im 10-Jahres-Zeitraum von 2000 bis 2009 wurden etwa 580 Systeme (davon 465 gelieferte Systeme und 118 vergebene Lizenzen) transferiert (bemannte Luftfahrzeuge etwa 10.550). Gemessen an den reinen Stückzahlen dominiert bei den insgesamt elf erfassten Lieferanten die israelische Industrie mit gut 230, die USA lieferten 84, Frankreich 79 Einheiten (Tab. 23). Auffällig ist, dass aus Russland,

53 Von der Gruppe der 147 Hersteller/Entwickler waren 105 kleine und mittlere Unternehmen. In diesem Feld sieht die Kommission die europäische Industrie gut aufgestellt (European Commission 2009, S. 5).

54 Für das Jahr 2008 haben Altmann et al. (2008, S. 118) das Handelsvolumen auf der Grundlage von Daten des Stockholm International Peace Research Institute, SIPRI, (allerdings nur für größere militärische UAV) auf ungefähr 0,5 Mrd. U.S.-Dollar geschätzt (der Handel mit bemannten Flugzeugen lag bei mehr als 15 Mrd. U.S.-Dollar).

weltweit der zweitgrößte Exporteur, nach den Angaben des Stockholm International Peace Research Institute (SIPRI) keine großen UAVs exportiert wurden. An bewaffneten Systemen weist SIPRI sechs Einheiten (den MQ9 Reaper) aus, die von den USA an Großbritannien (4) und Italien (2) geliefert wurden.

TAB. 23 GELIEFERTE EINHEITEN UND VERGEBENE LIZENZEN 2000–2009

Staat	geliefert	Lizenz	gesamt
Israel	206	30	236
Österreich	4	80	84
USA	84	–	84
Frankreich	74	5	79
Deutschland	42	–	42
sonstige	55	3	58
gesamt	465	118	583

Quelle: SIPRI Arms Transfers Database (http://armstrade.sipri.org/page/trade_register.php; 27.1.2011)

Bei den insgesamt 39 Empfängerländern liegen die Vereinigten Arabischen Emirate mit etwa 90 Systemen (davon 80 unter Lizenz produziert) an der Spitze, es folgen Indien mit 68, Rumänien mit 65, und Pakistan mit 55 Einheiten (Tab. 24).

TAB. 24 IMPORTIERTE UND UNTER LIZENZ PRODUZIERTE EINHEITEN 2000–2009

Staat	importiert	Lizenz	gesamt
Vereinigte Arabische Emirate	12	80	92
Indien	68	–	68
Rumänien	65	–	65
Pakistan	55	–	55
Niederlande	40	–	40
sonstige	225	38	263
gesamt	465	118	583

Quelle: SIPRI Arms Transfers Database (http://armstrade.sipri.org/page/trade_register.php; 27.1.2011)

ZUKÜNFTIGE ENTWICKLUNGEN

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

UAV

Für UAVs werden verschiedenen Marktstudien zufolge in den nächsten Jahren deutliche Zuwächse der Nachfrage nach kompletten Systemen (Fluggerät, Bodenstation, Payload) ebenso wie nach Forschungs- und Entwicklungsvorhaben erfolgen. Die prognostizierten Umfänge ebenso wie die Zuwachsraten weichen allerdings deutlich voneinander ab. Im Teal-Group-Bericht »World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast 2010« wird geschätzt, dass der Markt für UAV-Systeme von etwa 4,9 Mrd. U.S.-Dollar 2010 bis 2019 auf 11,5 Mrd. U.S.-Dollar wachsen wird (Teal Group 2010). Die Firma Forecast International hingegen schätzt für 2018 ein Marktvolumen von 16 Mrd. U.S.-Dollar (Forecast International 2006). Das Marktforschungsunternehmen Vision Gain wiederum prognostiziert globale Umsätze, die bis 2018 auf 9,5 Mrd. U.S.-Dollar ansteigen (nach Eurocontrol 2008).

Hinsichtlich der Struktur des Marktes wird zumindest in den nächsten zehn Jahren allgemein keine große Veränderung erwartet, d. h., U.S.-amerikanische Firmen werden auch dann den globalen Markt für militärische UAVs dominieren. Entsprechend dieser Anbieterstruktur wird weiter das U.S.-amerikanische Verteidigungsministerium nachfrageentscheidender Treiber der Marktexpansion bleiben. Die Teal Group erwartet dennoch ein deutliches Anwachsen des europäischen Marktes für UAV. Nach ihrer Schätzung könnte das Marktvolumen (UAV Unit Production) von 200 Mio. (2008) auf 566 Mio. U.S.-Dollar (2017) wachsen. Wie andere Analysten auch, sieht man zwar das Segment der Mini-UAVs als wachstumsträchtig an (Teal Group 2008 u. 2010)[55], erwartet aber einen gewissen Rückgang im U.S.-Markt.

Die EU-Kommission rechnet für den europäischen (militärischen) UAV-Markt zwischen 2008 und 2016 mit einem Anwachsen der beschafften Systeme auf bis zu 600 taktische Systeme, bis zu 200 MALE- sowie auf fünf HALE-Systeme. Ferner wird erwartet, dass etwa 10.000 Mini-UAVs beschafft werden (EC/Frost&Sullivan 2007b, S. 6). Die zivilen Marktanteile in diesem Jahrzehnt werden überwiegend als gleichbleibend gering eingeschätzt. Immerhin erwartet aber die Teal Group (2010) bis 2020 einen Anteil von knapp 10 % (2010: ca. 4 %).

55 Der asiatisch-pazifische Markt wird nach diesen Prognosen stärker als der europäische wachsen und diesen überholen.

USV/UUV UND UGV

VisionGain (2007) schätzt den Umfang des globalen Marktes für unbemannte maritime Systeme für 2020 auf 8,83 Mrd. U.S.-Dollar. Dabei dominieren zivile Anwendungen. Dieser Schätzung liegt u. a. die Erwartung zugrunde, dass nicht nur die Exploration von Bodenschätzen im Meeresboden sowie der Bau, die Wartung und die Sicherung von Versorgungs- und Abflussleitungen (dazu Lake 2007) deutlich zunehmen werden, sondern auch eine sukzessive Umstellung von ferngesteuerten auf (deutlich teurere) autonome Systeme erfolgen wird.[56] Die meisten Szenarien gehen von weiterem kontinuierlichem Wachstum des Gesamtmarkts für UUVs aus – die Angaben differieren allerdings erheblich. Nugent (2009) erwartet 3- bis 5 %ige Wachstumsraten bis 2015.

Für *UGVs* erwartet VisionGain (2007) ein Anwachsen des weltweiten Umsatzes von 2007 bis 2020 auf 1,35 Mrd. U.S.-Dollar. Hier werden Zuwächse sowohl im zivilen Sicherheitsmarkt als auch im militärischen Bereich angenommen.

KOSTEN UND KOSTENVERGLEICHE 2.

UMS sollen ein weites Spektrum von Aufgaben erfüllen, von denen viele bislang zuverlässig von bemannten Systemen bewältigt werden. Dabei stellt sich die Frage, wie sich für verschiedene Systeme in unterschiedlichen Anwendungsfeldern und Missionen die Kostenstrukturen darstellen und ob sich fallweise eine ökonomische Vorteilhaftigkeit von UMS ergeben könnte. Im Folgenden werden nach einigen grundsätzlichen Ausführungen konkrete Beispiele zu Systemen und Einsätzen im militärischen und zivilen hoheitlichen Bereich angeführt (zum Folgenden Altmann et al. 2008, S. 128 ff.).

ANMERKUNGEN ZU KOSTENARTEN UND KOSTENELEMENTEN 2.1

Zusammen mit dem Argument des verbesserten Schutzes der Soldaten wird das Kostensenkungspotenzial zur Begründung der Überlegenheit unbemannter Systeme im Vergleich mit bemannten Systemen angeführt (Geer/Bolkcom 2005, S. 2). Einsparungen durch UMS werden häufig mit der Abwesenheit vom Menschen im Fahrzeug begründet: Dadurch könnten zunächst beim Bau des Systems die Kosten für Maßnahmen zum Schutz von Menschen eingespart werden. Der Verzicht führe zudem zu Gewichtsreduktionen, die sich wiederum in niedrigeren

56 Perspektivisch könnte die Nachfrage nach bewaffneten UUVs dem Markt einen neuen Schub geben oder ihn zumindest stabilisieren (Nugent 2009).

Betriebskosten niederschlügen.[57] Fehlt die Crew auf der Plattform, ergeben sich eine Reihe von Konstruktions- und Designmöglichkeiten und damit Einsatzoptionen, die bei bemannten Systemen nicht möglich sind. Bei großen UAVs sind dies beispielsweise extreme Agilität, bei UGVs verbesserte Mobilität, Geländesicherheit und Nutzlast (Butcher 2006). Häufig wird ins Feld geführt, dass sich bei UMS auch die Personalkosten beim Einsatz der Systeme senken lassen: Der Personaleinsatz kann gezielt begrenzt werden, Alters- und Gesundheitsaspekte, die besonders für Piloten relevant sind, spielen eine geringere Rolle. Etwaige Zuschläge, z. B. für Auslands- oder besonders gefährliche Einsätze, können entfallen. Weiterhin können Einsätze eines unbemannten Systems über längere Zeit – und damit kostengünstiger – erfolgen, als mit menschlicher Besatzung. Schließlich ergeben sich Kosteneinsparungen durch die veränderte Art von Ausbildung und Training der Fahrzeugführer. Diese finden bisher überwiegend in den Fahrzeugen selbst statt, was betriebswirtschaftlich tendenziell nachteilig zu Buche schlägt.[58] Dagegen könnten Ausbildung und Training für das Führen von UMS öfter in Simulatoren erfolgen, was in der Regel zu Kosteneinsparungen führt (Altmann et al. 2008, S. 128).

Andererseits entstehen zusätzliche Kosten durch die notwendigerweise komplexere Steuerung der unbemannten Fahrzeuge. Diese benötigen zusätzlich Sensoren, und die Steuerungssoftware ist in der Regel aufwendiger (z. B. Friedmann 2010, S. 64). Auch die Kontrollsysteme, wie bei ferngelenkten Systemen (in der Regel bodengestützt, über größere Entfernungen mit Satellitenübertragung), sind in der Mehrzahl komplexer. Dadurch sind höhere FuE-Kosten für UMS verglichen mit bemannten Systemen mit weniger komplexer Steuerungstechnologie zu erwarten.

Zusätzlich erforderliche Sensoren können auch die Beschaffungs- und Unterhaltungskosten erhöhen, wie Erfahrungen in den USA belegen (Geer/Bolkcom 2005, S. 19). In die Betriebskosten eingerechnet werden müssen auch der logistische Aufwand, das Training von Steuer- und Instandhaltungspersonal sowie das unterstützende Personal von bis zu 20 Personen im Fall des Predator B zur Grenzüberwachung (Bolkcom/Nunez-Neto 2008, S. 4).

Da, wo beim augenblicklichen Entwicklungsstand UMS weniger zuverlässig sind als Systeme mit Menschen an Bord, werden auch höhere Verlustraten einzukal-

57 Zur Verwendung des Gewichtsarguments wird zu Recht dessen Oberflächlichkeit angemerkt. Das Argument sei »all too often a red herring«, weil die Nutzlast, die nötig ist, um das Fehlen der Crew zu kompensieren, oftmals schwerer sei als die Besatzung (EU-Kommission/Frost&Sullivan 2007, S. 58).

58 Friedmann (2010, S. 64) schätzt, dass die Hälfte der Kosten eines bemannten Flugzeugs über den gesamten Lebenszyklus hinweg für Training in und mit den Maschinen anfällt.

kulieren sein.[59] Man wird aber in Rechnung stellen müssen, dass aufgrund technischer Fortschritte, Verbesserungen in Systemdesign sowie einer ständig wachsender Zahl von Flugstunden (GAO 2008, S. 8 ff.) die Verlustraten tendenziell geringer werden.

Viele Kostenangaben, die sich (oft sehr summarisch) in öffentlich zugängigen Quellen finden, sind intransparent und kaum vergleichbar. So ist beispielsweise oft nicht zu erkennen, welche Kostenart gemeint ist (Beschaffung, Betrieb, gesamter Lebenszyklus). Für Verwirrung sorgen Zahlen, bei denen nicht erkennbar ist, ob sie sich auf die Plattform alleine oder auf das System insgesamt beziehen. Wiederum der Predator als Beispiel: Die einzelne *Plattform* kostete (im Jahr 2005) 4,5 Mio. U.S.-Dollar, das *System* (mit vier Plattformen) 30 Mio. U.S.-Dollar[60] (Geer/Bolkcom 2005, S. 18). Unterschiedliche Zahlen für das gleiche System ergeben sich auch dann, wenn man verschiedenartige Kostentypen ins Feld führt. Die in USA sogenannten »flyaway costs« eines Predators betragen 64,1 Mio., während die »program acquisition unit costs« 128,7 Mio. U.S.-Dollar betragen (Geer/Bolkcom 2005, S. 15).[61] Wichtig ist auch, die Perspektive bzw. die Vergleichsebene, wie die beiden folgenden Beispiele zeigen sollen:

- Auf den ersten Blick betragen die jährlichen Kosten eines MQ-9-Predators B (Stand 2006) mit 11,7 Mio. U.S.-Dollar etwa ein Drittel der Kosten einer F-16 Falcon. Wählt man als Perspektive aber die Kosteneffektivität, ergibt sich ein anderes Bild. Der Predator ist allenfalls in der Lage, ein Viertel der Nutzlast der F-16 zu tragen. Dies bedeutet, dass sich die Kosten pro etwa 0,5 kg eingesetzter Munition bei einem Predator auf gut 4.600 U.S.-Dollar, bei einer F-16 aber nur auf etwa 3.000 U.S.-Dollar belaufen. (Auch kann die F-16 vielfältigere Missionen ausführen.) (Geer/Bolkcom 2005, S. 30)
- Nach Wezemann (2007, S. 2 f.) kosten Entwicklung und Kauf eines Aufklärungsflugzeugs 25 bis 35 Mio. U.S.-Dollar (mit einem hohen Aufwand für die Basis und die Wartung). Die gleichen Missionen könnten nach seiner Ansicht mit weniger als 1 Mio. U.S.-Dollar (mit geringeren Betriebskosten) durch un-

59 Allerdings könnte dies durch die geringeren Kosten des einzelnen Fahrzeugs aufgewogen werden. Zu den höheren Verlustraten von UAVs im Vergleich mit bemannten Flugzeugen DoD 2007, S. 105 u. Geer/Bolkcom 2005, S. 23.

60 Wagner (2007) nennt hierfür einen Systempreis von 24 Mio. U.S.-Dollar.

61 Friedmann (2010, S. 64) nennt ein UCAV eine »effizientere Cruise Missile«. Bei einem Vergleich mit den Kosten einer Cruise Missile wäre allerdings zu berücksichtigen, dass schon geringe Verlustraten den durch Mehrfachverwendbarkeit begründeten Kostenvorteil von UCAVs obsolet werden lassen (Brewer 2008). Nach Gulam/Lee (2006, S. 135) kostete 2005 eine luftgestützte Cruise Missile mit einem Gefechtskopf von etwa 2.000 kg 1,16 Mio. U.S.-Dollar.

bemannte Systeme erfüllt werden.[62] Allerdings liegen HALE- und MALE-Systeme in ganz anderen Kostenbereichen. 2007 wurde in den USA das Global-Hawk-System mit 84 Mio. und ein (Standard-)Reaper-Combat-Air-Patrol-System mit 53 Mio. U.S.-Dollar in der Beschaffungsplanung veranschlagt. Dabei werden für diese Systeme der Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebiets oder der weiträumigen strategischen Aufklärung aufwendig ausgestattete Bodenkontrollstationen und Datenverbindungen erforderlich.

Bisherige Argumente und Analysen bezogen sich zumeist auf einen Vergleich fortgeschrittener bemannter Systeme mit unbemannten Systemen, die hinsichtlich ihres Designs, der verwendeten Materialien und der integrierten Nutzlast eher einfacher (und damit preiswerter) ausgelegt waren. Offensichtlich ist aber ein Trend zur »Aufwertung« unbemannter Systeme aufgrund wachsender Anforderungen und anspruchsvoller Missionen. So ist zu erwarten, dass HALE- und MALE-UAVs größer werden, um genügend Treibstoff für langandauernde Missionen sowie die gewünschten vielfältigen Sensoren und/oder Wirkmittel an Bord zu haben. Um insbesondere bei Einsätzen in gutverteidigten Gebieten die Überlebensfähigkeit zu verbessern, werden ein fortgeschrittenes Design und radarabsorbierende Materialien erforderlich sein. Eine komplexe Avionik müsste aufgrund geforderter hoher Agilität ebenfalls gewährleistet werden (Brewer 2008, S. 91). Parameter wie die genannten werden (wie teilweise bereits erkennbar) in Zukunft die Kosten weiter steigen lassen, sodass sich bemannte und unbemannte Systeme in dieser Hinsicht teilweise annähern.

BEISPIELHAFTE EINSATZ- UND KOSTENVERGLEICHE 2.2

BEMANNTE UND UNBEMANNTE KAMPFFLUGZEUGE

Öffentlich zugängliche Daten[63] in den USA zu *Forschungs- und Entwicklungskosten* für bemannte und unbemannte Systeme zeigen, dass bei vergleichbarer Komplexität und für vergleichbare Aufgaben die Unterschiede gering sind. Einsparpotenziale auf dieser Ebene sind deshalb – einer U.S.-amerikanischen Studie zufolge – in der Zukunft kaum zu erwarten (Lewis 2002, S. 76). Ähnliches gilt für *Beschaffungskosten*. Die Einsparungen durch den Verzicht auf Piloten belie-

62 Wezemann (2007, S. 2) vergleicht den Preis einer (bemannten) F-16 (25 bis 35 Mio. U.S.-Dollar) mit dem Beschaffungspreis zweier Sperwer-Systeme (mit zwölf Fluggeräten) in Höhe von 55 Mio. U.S.-Dollar. Ferner unterstellt er, dass die Kosten für die Aufklärungsmissionen mittels eines UAV »weniger als 1 Mio. U.S.-Dollar« betragen.

63 In verschiedenen Studien sind die Kosten des Einsatzes von bemannten Kampfflugzeugen und UCAVs für den Bodenkampf oder den Einsatz als Bomber untersucht wurden. Die meisten dieser Studien sind öffentlich nicht zugänglich (Altmann et al. 2008, S. 130). Entsprechend gibt es auch keine allgemein akzeptierte Datenbasis für Vergleiche (Franklin 2008a, S. 21).

fen sich zwar auf ca. 5 % der Gesamtkosten,[64] diese würden aber durch die erheblichen Kosten der Bodenstation zur Kontrolle des UCAVs kompensiert. Im Endeffekt seien die Beschaffungskosten für bemannte und unbemannte Systeme im Wesentlichen gleich (Lewis 2002, S. 78). Erhebliche Einsparungen ergeben sich hingegen bei den *Betriebskosten*. In der Studie wird angenommen, dass im Durchschnitt ca. 95 % der Flugstunden eines Kampfflugzeugs für Trainingsflüge benötigt werden, bei UCAVs hingegen sind es nur 50 % (Lewis 2002, S 79; s. a. Franklin 2008a, S. 21). Dies würde zu signifikant geringeren Kosten pro im Kampfeinsatz geflogene Flugstunde von UCAVs führen, wenn die Kosten für die hohen Verlustraten im Einsatz gesenkt werden können. Das Training der UAV-Piloten ist ebenfalls mit hohen Verlustraten bei den Systemen verbunden, in 70 % der Fälle durch Flugfehler. Jedoch kann ein verstärkter Einsatz von Simulatoren das Training auf deutlich weniger fliegende Systeme reduzieren, sodass bis zu 90 % der Kosten in Friedenszeiten eingespart werden könnten (Lewis 2002, S. 81). Lewis (2002, S. 84) folgert schließlich, dass sich UCAVs mit wachsender Zuverlässigkeit sowohl in Kriegs- als auch in Friedenszeiten bezüglich der Kosten und Einsatztauglichkeit wahrscheinlich als effizient erweisen können.

KERNAUSSAGEN EINER KOSTENVERGLEICHENDEN STUDIE VON RAND UND U.S. AIR FORCE

Die Stückkosten eines unbemannten UCAVs betragen weniger als ein Drittel der Kosten eines bemannten Kampfflugzeugs. Folgende Begründungen werden dafür gegeben:

- das Fehlen eines Piloten an Bord macht u. a. Zulassungsverfahren, Steuerungseinrichtungen und Schnittstellen obsolet;
- neue Designprinzipien können zur Optimierung des Designs für Aerodynamik und die Signatur sowie geringere Herstellungs- und Instandhaltungskosten genutzt werden;
- neue Möglichkeiten im Design ermöglichen die Herstellung kleinerer, weniger komplexer Flugzeuge;
- Fortschritte bei (der Entwicklung) kleiner, intelligenter Munition werden dazu führen, dass diese kleineren Fahrzeuge während eines Einsatzes mehrere Ziele angreifen können und die Kosten pro getötetes Ziel reduziert werden.

Bei den Betriebs- und Unterhaltungskosten werden 50 bis 80 % geringere Kosten geschätzt.

Quelle: Franklin 2008, S. 21

64 Berechnet auf der Grundlage einer Gewichtseinsparung von ca. 970 kg für ein Gesamtgewicht von etwa 18.200 kg. Dies entspricht einem Flugzeug der F-22-Klasse (Lewis 2002, S. 77).

Nach Buciak (2008) hat das Zentrum für Analysen und Studien der Bundeswehr die Kosten eines UCAVs über den gesamten Lebenszyklus hinweg auf 30 % der Kosten eines bemannten Geräts geschätzt. Ähnlich sind die Ergebnisse einer Studie von RAND und U.S. Air Force Ende der 1990er Jahre (Franklin 2008a, S. 21).

Die referierten Studienergebnisse (Lewis 2002) werden in einer für die Europäische Verteidigungsagentur erstellten Studie tendenziell bestätigt. Einige Ergebnisse dieser Studie sind öffentlich zugänglich (ADSE 2008). Untersucht wurden die Kosten für Luft-Boden-Missionen für bemannte Kampfflugzeuge einerseits sowie UCAVs auf ähnlichem technischen Niveau und einer größeren Zahl (»Schwarm«) kleinerer, technisch weniger aufwendiger UCAVs andererseits. Weder bei den Entwicklungs- noch den Beschaffungskosten wurden große Unterschiede zwischen den bemannten Flugzeugen und dem technischen aufwendigen UCAV ermittelt.[65] Den Einsparungen durch Wegfall der Überlebenssysteme und durch eine geringere Zahl notwendiger Systeme (für Ausbildung und Training) bei den UCAVs stehen höhere Kosten für die Steuerungssysteme im Fahrzeug und am Boden gegenüber. Erhebliche Einsparungen zeigen sich aber auch hier beim *Betrieb* insbesondere aufgrund der Möglichkeit, Ausbildung und Training in weit größerem Umfang mit Simulatoren durchzuführen. Für Schwärme kleinerer UCAVs hingegen werden keine Einsparungen errechnet: Den niedrigeren Betriebskosten stehen höhere Beschaffungskosten gegenüber, da bei diesen Systemen mit einer höheren Ausfallrate gerechnet werden muss (Altmann 2008, S. 131).

Als entscheidender Vorteil unbemannter Systeme wird insgesamt die durch den Wegfall der Crew bedingte Steigerung der Reichweite, Manövrierfähigkeit und der Einsatzdauer (»endurance«) in Verbindung mit verbesserten Stealth-Fähigkeiten gesehen. Im Lichte dieser Möglichkeiten erweisen sich mittlerweile Diskussionen um eine ökonomische Vorteilhaftigkeit des einen oder anderen Systems als peripher. Beachtung erfordern allerdings Entwicklungen, die Belastungen der öffentlichen Haushalte mit sich bringen. Das U.S. Government Accountability Office (GAO) – in etwa vergleichbar dem deutschen Bundesrechnungshof – untersuchte mehrere UAV-Beschaffungsprogramme des Department of Defense. Das GAO merkte in seinem Bericht detailliert und kritisch an, dass in fast allen Fällen die Entwicklungskosten um mehr als ein Drittel über den ursprünglichen Schätzungen lagen, dass Beschaffungskosten teilweise um bis zu 25 % gestiegen sowie Verzögerungen im Gesamtprozess um ein Jahr und mehr zu verzeichnen

65 Ähnliches ergab eine Studie des Congressional Budget Office, das die Beschaffungskosten eines bemannten Angriffshelikopters mit denen eines UCAVs verglich. Eine Studie des DoD aus dem Jahr 2000 konstatiert allerdings bei einem Vergleich der Beschaffungskosten eines F-16 mit denen eines UCAVs Kostenvorteile beim unbemannten System (Geer/Bolkcom 2005, S. 18).

waren. Das GAO plädierte dafür, dass die Teilstreitkräfte besser zusammenarbeiten sollten, insbesondere, um fallweise gemeinsame Entwicklungen bei Subsystemen, Nutzlast oder Bodenkontrollstation zu betreiben. Zugleich wurde angemerkt, dass die Teilstreitkräfte ihr Verhalten in dieser Hinsicht – trotz entsprechender Hinweise des GAO – nicht geändert hätten (GAO 2010, S. 14).

GRENZÜBERWACHUNG

Bei Missionen zur Überwachung von See- und Landgrenzen wird als Grund für geringere Kosten eines UAVs vor allem auf die längere Standzeit über dem zu kontrollierenden Gelände[66] sowie die geringeren Betriebskosten durch Gewichtseinsparung und Miniaturisierung hingewiesen. Einsparmöglichkeiten bei Personalkosten werden ebenfalls unterstellt.

Praktische Erfahrungen liegen für die Überwachung der Südgrenze der USA vor, wo das Departement of Homeland Security (DHS) seit 2004 UAVs testet (Bolkcom/Nuñez-Neto 2008, S. 3). Es hat sich gezeigt, dass UAVs für bestimmte Einsatzformen, insbesondere die Langzeitüberwachung, Kostenvorteile gegenüber bemannten Systemen haben. Es liegt jedoch auch die Schlußfolgerung nahe, dass UAVs am wirkungsvollsten als ein Element eines umfassenden *Systems* der Grenzüberwachung einzusetzen sind. In dessen Rahmen würde ihr Einsatz mit weiteren Maßnahmen wie Verfolgung und Festnahmen synchronisiert. Dazu wiederum muss relativ ortsnah Personal vorgehalten werden. Schließlich ist die (zurzeit noch) relativ hohe Absturzhäufigkeit von UAVs (z. B. Larson 2008) ebenso kostenrelevant wie der Umstand, dass sie bei bestimmten Wetterbedingungen in ihrer Aufklärungsfähigkeit (mit elektrooptischen und Luftkameras) eingeschränkt sind (und Einsätze abgebrochen und wiederholt werden müssen).

Aus behördlicher Sicht wird zu den Kosten Folgendes ausgeführt: Die operativen Kosten eines UAVs seien doppelt so hoch wie die eines bemannten Flugzeugs hauptsächlich deshalb, weil (große) UAVs eine umfangreiche Logistik von bis zu 20 Personen benötigen (was allerdings für bemannte Systeme auch gilt).[67] Sollten sich Systeme realisieren lassen, mit deren Hilfe mehrere UAVs zugleich gesteuert werden können, ergäbe sich kostenseitig eine neue Situation (Haddal/Gertler 2010, S. 4).

66 Ein Predator B kann etwa 30 Stunden (ohne Auftanken) im Einsatz bleiben – ein Hubschrauber wie der Blackhawk allenfalls etwas über zwei Stunden (Bolkcom/Nuñez-Neto 2008, S. 3).

67 Im Zuge einer Ausschreibung im Rahmen der »Border Patrol Initiative« wählte das Department of Homeland Security Boeing als Hauptauftragnehmer aus. Im Gegensatz zu den Mitbewerbern räumte Boeing bei seinem Konzept dem Einsatz von UAVs nur eine Nebenrolle ein, weil diese zu viele Unsicherheitsfaktoren aufwiesen und zudem gegenüber konventionellen Systemen (z. B. Zäune und Türme mit Kameras und Radar) erheblich teurer seien (Altmann 2008, S. 132).

Die Stückkosten von UAVs wiederum sind tendenziell – je nachdem womit man sie vergleicht[68] – niedriger: Ein Predator kostet 4,5 Mio., ein Blackhawk-Hubschrauber 8,6 Mio., eine (bemannte) P-3 36 Mio. U.S.-Dollar (Bolkcom/Nuñez-Neto 2008, S. 4 f.; Haddal/Gertler 2010, S. 4). Auch lässt sich argumentieren, dass die Aufgabenerfüllung u. U. effektiver sei, da ein UAV länger in der Luft bleiben und kontinuierlich über dem Überwachungsgebiet verharren kann (ein Vorteil, der aber nicht leicht zu monetisieren ist).

EINSÄTZE UNTER WASSER: TAUCHER, BEMANNTE TAUCHBOOTE, UUVS

Die gängigen Optionen für Einsätze unter Wasser sind professionelle Taucher, bemannte Tauchboote und ROVs.

Der Einsatz von professionellen Tauchern bietet Vorteile bei Aufgaben, die komplexe Wahrnehmungen und nicht standardisierte Handlungen erfordern. Allerdings können Taucher nur bis zu vergleichsweise geringen Tiefen eingesetzt werden, wobei die Kosten mit der Einsatztiefe überproportional ansteigen. *Bemannte Tauchboote* unterliegen zwar nicht den physischen Einschränkungen von Tauchern, erfordern aber, je nach Tiefe, in die sie tauchen sollen, den Einbau von Überlebenssystemen. Für Beobachtungsaufgaben, insbesondere in unbekannter und komplexer Umgebung, sind sie gut geeignet, für die Ausführung mechanischer Tätigkeiten hingegen, nicht zuletzt aufgrund der Eigengefährdung, oft in geringerem Maße als ein Taucher.

ROVs sind für die Ausführung von Routinearbeiten (Kontrolle, einfache mechanische Aufgaben, Schweißarbeiten) gut geeignet. Ab Tiefen von ca. 50 m wird ihr Einsatz kostengünstiger als der von Tauchern und Tauchbooten eingeschätzt (Altmann et al. 2008, S. 132).

AUVs können insbesondere dort, wo aufgrund von schwierigen Wetter- und Seebedingungen der Betrieb von ROVs (die über Kabel mit Überwasserschiffen verbunden sind) aufwendig ist, kosteneffizient sein. Potenziell könnten sich Kosteneinsparungen auch dadurch ergeben, wenn weniger Personal zur Steuerung und Überwachung der Systeme im Einsatz erforderlich ist. Wegen der Schwierigkeiten der Unterwasserkommunikation können autonome UUVs allerdings keine Echtzeitdaten liefern, sodass die von ihnen gespeicherten Daten erst nach ihrem Auftauchen ausgewertet werden können. In einer Studie der Shell International wurden die möglichen Einsparungen durch den Einsatz von AUVs gegenüber ROVs auf 30 Mio. bis 75 Mio. U.S.-Dollar innerhalb eines Zeitraums von fünf Jahren geschätzt (NDIA 2004, S. 7). Allerdings gibt es auch Stimmen, die sowohl Sicherheits- als auch Kostenfragen anders einschätzen. Da zwischen Kontrollsta-

68 Nach Larson (2008, S. 1) fiele der Vergleich anders aus, wenn man statt anspruchsvoller bemannter Systeme (z. B. die Lokheed P-3) einfache Plattformen wie die Cessna 182 heranzöge – oder auch Aerostate.

tion und autonomen UUVs aus physikalischen Gründen teilweise nur geringe Datenmengen übertragbar sind, wird häufig gefolgert, dass deren Verlustraten höher liegen könnten als die von ROVs.

Bislang haben autonome UUVs ihre Einsatzfähigkeit sowie ihre Rentabilität und Kosteneffizienz aus Sicht der meisten potenziellen Käufer nicht ausreichend bewiesen. Deshalb zögert zum Beispiel die Offshoreindustrie noch, autonome Unterwassersysteme in größerem Umfang einzusetzen (Altmann et al. 2008, S. 133).

FAZIT

Die Informations- und Datenlage den Kosten und Einsparpotenzialen unbemannter Systeme ist nicht sehr zufriedenstellend. Es sind kaum seriöse Studien zugänglich; Aussagen in der Literatur sind oft pauschal und nicht nachvollziehbar. Wichtige methodische Fragen sind noch ungeklärt.

Mit der deshalb gebotenen Zurückhaltung kann nur die folgende qualitative Einschätzung vorgenommen werden: Bei spezifischen Missionen unter bestimmten Einsatzbedingungen bieten einige Typen von UMS bereits jetzt Kostenvorteile. Dies gilt primär für langandauernde (Überwachungs-)Missionen, wo sich unbemannte Systeme aufgrund überlegener Flugdauer und Standzeiten leistungsstärker als bemannte Systeme darstellen. Das Argument des Kostenvorteils trägt auch in Fällen, in denen bei gefährlichen Missionen unbemannte Systeme einen aufwendigen und riskanten Einsatz von Mensch und Material substituieren können. Beispiele hierfür sind etwa das Räumen von schweren Fahrzeugminen, das Entschärfen von Bomben oder das Überfliegen von Stellungen, die gut durch Luftverteidigung geschützt sind. Kostenvorteile können sich auch dort ergeben, wo insbesondere miniaturisierte Systeme mit geringerem logistischen Aufwand und reduziertem Risiko für Mensch und Gerät anstelle aufwendiger technisch-personeller Alternativen infrage kommen. Das gilt z. B. für Aufklärung in beengten Räumen, wie Tunnel, Röhren oder das Innere von Gebäuden. Bei komplexeren Aufgabenkonstellationen, etwa der Grenzüberwachung, deutet sich an, dass kosteneffiziente Einsatzoptionen in der Kombination bemannter und unbemannter Systeme liegen könnte (Altmann et al. 2008, S. 133).

Letztlich ist bei der Einschätzung von (vergleichenden) Kostenangaben im militärischen Bereich zu bedenken, dass Kosten bei Beschaffungsentscheidungen nur ein Faktor sind und im Gesamtzusammenhang mit weiteren Faktoren zu bewerten sind. Insbesondere die Effizienz und Effektivität einer Missionsdurchführung, der Schutz von eigenem Personal und nicht zuletzt dringende Einsatzanforderungen können unter bestimmten Umständen ausschlaggebende Argumente für ein unbemanntes System sein – trotz höherer Kosten.

Abschließend soll noch darauf hingewiesen werden, dass für zukünftige privatwirtschaftliche Anwendungen die Kostenfrage einen anderen Stellenwert gewin-

nen wird. Auf privatwirtschaftliche Anwendungen werden Kostenvergleiche im Kontext militärischer Nutzung nur bedingt übertragbar sein, da beispielsweise die Preise und Kosten für die bemannte Fluggeräte, die hier zum Einsatz kommen, geringer sind als im militärischen Sektor (Sarris 2001, S. 6). Spezifische Kostenmodelle für UAVs müssten aber auch deshalb neu konzipiert werden, da bisherige Methoden auf bemannte Systeme und deren ganz andere Lebenszyklen zugeschnitten sind (Valerdi 2005).

3. PERSPEKTIVEN ZIVILER ANWENDUNGEN

UAV

Die zivile (hoheitliche und privatwirtschaftliche) Nutzung von UAVs ist bisher auf Nischenmärkte begrenzt. Hierzu zählen beispielsweise der Einsatz von UAVs bei der Überwachung von Infrastrukturen, Grenzen, Verkehr oder Sportveranstaltungen in eingeschränkten Lufträumen. In Südkorea und Japan werden UAVs beispielsweise seit Jahrzehnten in der Landwirtschaft eingesetzt (Geer/Bolkcom 2005; s. a. Reidelstürz 2007).

Im hoheitlichen Bereich ist vor allem die Grenzüberwachung zu Land wie auf See ein Zukunftsmarkt. Zur Überwachung der Südgrenze der USA und in Israel werden UAVs seit vielen Jahren eingesetzt. Die EU hat eine über 65.000 km lange Küste sowie eine ausgedehnte Grenze nach Osten. Die EU und ihre Agentur Frontex prüfen deshalb die Option, bemannte fliegende Systeme durch unbemannte zu ersetzen und sie in ein umfassendes »system of systems« zur Überwachung der Außengrenze zu integrieren (Berglund/Kolex 2009). Die EU-Kommission (2007, S. 9) hatte zuvor schon Aktivitäten in der Forschung und Entwicklung zu Anwendungen bei Grenzüberwachung mit UAVs und Satelliten empfohlen. Nach Angaben der Bundesregierung (2010a, S. 6) ist im Rahmen von EUROSUR der Einsatz von Drohnen »mittel- bis langfristig« vorgesehen.

Robotereinsätze bei der Polizei sind mittlerweile weltweit zu beobachten.[69] In vielen europäischen Ländern setzen die Polizeien UAVs ein. In Deutschland hat die Polizei in Nordrhein-Westfalen schon 2003 einen AirRobot beschafft, der bei Geiselnahmen u. a. Spezialeinsätzen verwendet werden sollte. Anfang 2008 mietete die sächsische Polizei zwei AirRobot-Quadcopter. Auch andere Landespolizeien prüfen und testen die Möglichkeit des Einsatzes von Drohnen. 2006 wurden für die Bundespolizei UAVs (FanCopter und ALADIN) gekauft (Friedl 2008;

69 UAVs werden in Frankreich, Großbritannien, Italien, Niederlande, Schweiz und USA eingesetzt, um Grenzen, Fußballspiele, Objekte oder Demonstrationen zu überwachen, http://euro-police.noblogs.org/category/drohnen (29.7.2008). Über die Überwachung von Grenzen und Fußballstadien in der Schweiz informiert Zemp (2008); die Sicht der Polizei in Großbritannien erläutert Clarke (2009).

s. a. Bundesregierung 2009b, S. 8). Die Bundespolizei bzw. das Bundesministerium des Inneren erwarten sich vom Einsatz von UAVs eine Erweiterung der polizeilichen operativen Möglichkeiten insbesondere im Bereich Überwachung und Aufklärung (in Ergänzung der Einsätze von Helikoptern).

Im Rahmen der zivil-militärischen Zusammenarbeit ist beispielsweise in Sachsen daran gedacht, unbemannte fliegende Systeme zur Aufklärung von Hochwasserlagen aus der Luft einzusetzen. Dabei könnten die erhobenen Daten für die operative Katastrophenbekämpfung und für Ex-post-Analysen sowie zum Zwecke des vorbeugenden Hochwasserschutzes durch die zivilen Verwaltungsbehörden genutzt werden. Man hofft sich durch den Einsatz von UAVs ökonomische und ökologische Vorteile gegenüber herkömmlichen Fluggeräten (Socher/Geyer 2008).

Im kommerziellen Luftverkehr haben insbesondere die Transportunternehmen Interesse daran, ihre Flugzeuge pilotenlos fliegen zu lassen, um dadurch Kosten zu sparen. Einer U.S.-amerikanischen Prognose zufolge könnte in den 2020er Jahren eine sukzessive Umstellung auf unbemannte Flugzeuge erfolgen, zunächst auf den transozeanischen und dann auf den langen Überlandrouten (UAVForum o. J.).[70] Viele weitere zivile Verwendungen sind angedacht (Kasten). Allerdings ist bei vielen Vorschlägen unklar, ob tatsächlich Kosten reduziert werden können, selbst wenn die notwendigen technischen Voraussetzungen für Aufgabenerfüllung und für die Sicherheit von Personen und Sachen geschaffen sind. Insbesondere ist noch nicht zu erkennen, ob, wann und wie unbemannte (insbesondere fliegende) Systeme sich am Markt gegen die etablierten Geschäftsmodelle mit bemannten Systemen durchsetzen können. Ganz abgesehen von rechtlichen und technischen Hürden müssten innovative Systeme, wollen sie wettbewerbsfähig und erfolgreich sein, Kosteneinsparungen und Vorteile bei den gewünschten Dienstleistungen bieten sowie jene Marktsegmente besetzen, die hinreichend schnell expandieren, damit UAVs sich durchsetzen können (Masey 2007, S. 47; s. a. Papadales 2003). Hier könnte dem Staat als Erstkäufer eine potenzielle Rolle zukommen, indem er durch seine Beschaffungsmaßnahmen eine Art Leitmarkt etabliert (z. B. Papadales 2003, S. 8; Sarris 2001).

UGV

Während für den militärischen Bereich häufig erwartet wird, dass der Einsatz von UGVs expandiert, wird im zivilen Bereich zumindest in den nächsten zehn Jahren eher mit einem begrenzten Zuwachs gerechnet.

70 In einem von der EU gefördertem Forschungsprojekt wurde die vollständige Automatisierung des Luftverkehrs untersucht: »Innovative Future Air Transport System«, IFATS. Das Konzept sah vor, Flugzeuge mittels Sensor- und Rechnersysteme ohne Piloten fliegen zu lassen. Bediener am Boden sind für die Gesamtlage verantwortlich, und es findet eine intensive Datenkommunikation zwischen Flugzeugen und Bodenstationen statt (Altmann et al. 2008,S. 95).

AUSWAHL POTENZIELLER ZIVILER ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON UNBEMANNTEN FLIEGENDEN SYSTEMEN

hoheitliche Aufgaben

- Grenz-, Küsten-, Seeüberwachung
- Überwachung von Ökosystemen (Wald, Gewässer), Klimamonitoring
- Katastrophenfrühwarnung und -hilfe (Beobachtung und Überwachung, Rettung von Menschen, Funkrelaisstationen in Katastrophensituationen)
- Objektüberwachung
- Verkehrsüberwachung
- See- und Bergwacht
- Notfall- und Rettungsdienste (z. B. Feuerwehr)

privatwirtschaftliche Verwendungen

- Bilderfassung (Film, Fernsehen)
- Überwachung von Großanlagen, Stromleitungen, Ölplattformen; Werkschutz
- Agrarwirtschaft und Weinbau (Dünger-, Insektizid- oder Pestizideinsatz)
- Fischerei
- Lastentransport
- Personentransport
- Kommunikation, Rundfunk und Fernsehen
- Wettervorhersagen

Quelle: nach Altmann et al. 2008, S. 124 sowie weiteren Quellen

Die Nutzung unbemannter Landfahrzeuge ist für viele nichtmilitärische Zwecke vorgeschlagen und erprobt worden, z. B. für Überwachung und Erkundung von Gelände, Straßen und Gebäuden oder für Suche und Rettung, z. B. nach Katastrophen wie Erdbeben. Auch die Überwachung und Überprüfung von Transportleitungen und Produktionsanlagen auf Defekte mittels Sensoren könnte von UGVs übernommen werden. Langfristig könnte auch der Transport von Gütern und Personen durch unbemannte Fahrzeuge erfolgen. Im hoheitlichen Bereich kämen UGVs für Aufgaben der Überwachung von Transportwegen und Grenzen oder die Unterstützung von Polizei bzw. Sicherheitsbehörden[71] infrage (Kasten).

Technisches Haupthemmnis für eine baldige breite Anwendung von autonomen UGVs ist ihre immer noch verbesserungsbedürftige Orientierungsfähigkeit und die damit verbundenen Gefahren durch Fehlfunktionen und Unfälle. Seit vielen Jahrzehnten wird zwar an autonomen Roboterfahrzeugen gearbeitet, die aber

71 Das BMI hat zwischen 1998 und 2009 insgesamt 28 unbemannte Fahrzeuge der Firma Telerob beschafft. Die Einsatzgenehmigung bezog sich auf Aufklärung und Entschärfung von Munition (Bundesregierung 2009b, S. 8). Einen Ausblick auf die »Roboterisierung der Polizei« gibt Sharkey (2008a).

bisher in unbekannter Umgebung nur unter kontrollierten Bedingungen einsetzbar waren. Sie demonstrieren aber auch zunehmende Fähigkeiten, einem Straßenverlauf zu folgen oder im Gelände Hindernisse zu erkennen und ihnen auszuweichen. Das Tempo bei der Entwicklung der notwendigen Basistechnologien ist hoch, und die Systemintegration macht ebenfalls Fortschritte. Kurz- und mittelfristig ist deshalb der verstärkte Einsatz von *ferngesteuerten und teilautonomen* Fahrzeugen in besonders gefährlichen Situationen zu erwarten, also z. B. bei der Kampfmittelräumung, der Feuerbekämpfung, der Menschenrettung, im Bevölkerungsschutz, in der Katastrophenhilfe sowie der polizeilichen Gefahrenabwehr (Altmann et al. 2008, S. 127). Auch der Markt für Sicherheitstechnologien könnte sich für UGVs durchaus vielversprechend entwickeln. Zivile autonome UGVs dürften dennoch auf absehbare Zeit vor allem Gegenstand der Forschung und der Entwicklung von Prototypen bleiben. Wo UGVs, insbesondere für gefährliche Spezialaufgaben (wie Arbeiten in unwegsamem oder kontaminiertem Gelände oder an Hochspannungsleitungen), bereits heute verwendet werden, sind sie durch einen Bediener gesteuert (Altmann et al. 2008, S. 126).

AUSWAHL POTENZIELLER ZIVILER ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON UNBEMANNTEN BODENGEBUNDENEN SYSTEMEN

hoheitliche Aufgaben

- Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hochwasser, Brandschutz und -bekämpfung)
- Polizei (Aufklärung potenziell gefährlicher Objekte, Unterstützung bei Zugriff und Überwachung)

privatwirtschaftliche Verwendungen

- Objektschutz
- Baugewerbe
- Bergbau
- Landwirtschaft
- Pflege (Menschen mit Behinderung, Kranke)

Quelle: nach Altmann et al. 2008, S. 126 sowie weiteren Quellen

USV/UUV

Wie bereits erwähnt, dominiert im Markt der USV/UUVs gegenwärtig der zivile Sektor. Entwickelt und produziert werden vor allem (per Kabel) ferngesteuerte Unterwassersysteme für die Öl- und Gasindustrie, für die Verlegung von Unterseekabeln und -pipelines, aber auch für die Suche nach mineralischen Rohstoffen auf dem Meeresgrund sowie die Forschung. Zahlreiche weitere mögliche Verwendungen sind in der Literatur beschrieben worden (Kasten).

AUSWAHL POTENZIELLER ZIVILER ANWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON UNBEMANNTEN SEEGESTÜTZTEN SYSTEMEN

hoheitliche Aufgaben

- Hafen-, Grenz- und Küstenschutz, Wasserschutzpolizei (Überwachung, Detektion , Bergung)

privatwirtschaftliche Verwendungen

- Offshoreindustrie: Öl- und Gasförderung, Windparks; Verlegung und Überwachung von Unterwasserpipelines und anderen Strukturen; hydrografische Untersuchungen
- Rohstoffindustrie: Unterwasserprospektion und Abbau (Diamanten, Nickel, Mangan)
- Suchoperationen (z. B. bei Schiffsunglücken)
- Verlegen/Überprüfen von Unterwasserkabeln

Wissenschaft und Forschung

- geophysikalische Wissenschaft und Forschung (Strömungsmessungen, Unterwasservulkanbeobachtungen)
- archäologische Aktivitäten

Quelle: nach Altmann et al. 2008, S. 125 sowie weiteren Quellen

Für die Firmen der Öl- und Gasbranche sind Systeme mit höherer Autonomie und einer weniger aufwendigen Logistik (wie bei ROVs erforderlich) von Interesse, die insbesondere in tieferen Gewässern mit höheren Geschwindigkeiten operieren sollen. Teilweise werden dadurch Zeit- und Kostenersparnisse erwartet. Voraussetzungen eines rentablen Betriebs sind allerdings größere Zuverlässigkeit, längere Einsatzzeiten und technologische Reife der Systeme (z. B. in Bezug auf Navigation und Datenspeicherung) (NDIA 2004, S. 7 f.). In der ozeanografischen Forschung sind aber bereits autonome UUVs im Einsatz. Die Finanzierung bzw. attraktive Aufträge gelten für einige Hersteller zurzeit noch als Probleme (Lake 2007, S. 30). Gleichwohl könnten sich AUVs zukünftig zu einem interessanten (Nischen-)Markt entwickeln. Dabei wird es sich sehr wahrscheinlich nicht um große Systeme (21 inches [53,34 cm] Durchmesser und mehr) handeln (NDIA 2004, S. 28).

UNBEMANNTE SYSTEME ALS INNOVATIONEN 4.

TECHNOLOGIEDYNAMIK UND TECHNOLOGIETRANSFER 4.1

Vergleicht man die industriellen Sektoren, die mit der Entwicklung und Fertigung von UMS beschäftigt sind, mit der traditionellen Flugzeugindustrie oder der Satellitenindustrie sowie den daran gekoppelten Bereichen wie Telekommunikation, zeigt sich – vor allem aufgrund des noch begrenzten zivilen Markts – eine noch begrenzte volkswirtschaftliche und innovationspolitische Bedeutung unbemannter Systeme. Zwar ist der Aufwand an Forschung und Entwicklung für unbemannte Systeme gemessen am Umsatz beträchtlich, die absoluten Summen im Vergleich zu anderen Industriezweigen sind allerdings gering. Etwas anders fällt die Einschätzung dann aus, wenn weitere UMS-relevante Technologien und Komponenten Berücksichtigung finden, etwa im Bereich der Robotik (Altmann et al. 2008, S. 134). Robotische Systeme werden bereits jetzt auf den verschiedensten Gebieten, wie in der Medizin, der Produktion, dem Straßenbau oder bei Arbeiten unter Wasser eingesetzt. In diesen Sektoren werden zum Teil erhebliche Umsätze erzielt, und über Kostenersparnisse und Effektivitätssteigerungen werden erhebliche weitere Umsätze und Wertschöpfungsketten induziert. Wählt man eine solche systemische Perspektive, in der das Innovationsgeschehen durch Vernetzung und Synergien erfolgt, wirken unbemannte Systeme darin gleichsam als Katalysator mit Effekten auf sparsame Antriebe, Brennstoffzellen, Batterien und Sensoren (EC 2009, S. 10).

UMS repräsentieren ein Spektrum unterschiedlicher Technologien und Komponenten, die überwiegend in zivilen Anwendungszusammenhängen in verschiedenen Sektoren der Industrie erforscht, entwickelt und genutzt werden. Die relevanten Technologien reichen von Energiespeichern über Antriebssysteme bis hin zu Sensoren und Steuerungssoftware (Altmann et al. 2008, S. 136). Wie schon in der Vergangenheit ist auch in Zukunft zu erwarten, dass wissenschaftsbasierte technologische Fortschritte ihren Ursprung eher in ziviler Forschung, Entwicklung und Anwendung haben werden: Steigende Rechengeschwindigkeit und Speicherkapazität (Unterhaltungsindustrie), Brennstoffzelle (Automobilindustrie) oder Datensicherheit und -Verschlüsselung (Finanzwirtschaft) sind nur drei Beispiele für Fortschritte aus zivilen Zusammenhängen, die für UMS genutzt wurden und werden (Tab. 25; DoD 2007, S. 45 ff.). Im »U.S. Unmanned Systems Masterplan« von 2007 (DoD 2007, S. 47) wird deshalb konsequenterweise gefordert, dass sich die angestrebten Fähigkeiten militärischer UMS an den kommerziell verfügbaren Technologien ausrichten sollten.

TAB. 25 AUSGEWÄHLTE ZIVILE BASISTECHNOLOGIEN MIT RELEVANZ FÜR UNBEMANNTE SYSTEME

Anwendungsbereich	Basistechnologien		
	Bioengineering	Werkstoffe	Computer
Flugzeugkomponenten/ Fahrwerk/Hülle	transgene Biopolymere	Mikrobaugruppen zur Nutzbarmachung von Grenzschichteffekten	
Antrieb und Energie		Supraleitermotoren Brennstoffzellen	
Steuerung	variable Tragflächen/ Flossen	variable Tragflächen/ Flossen	Stimmerkennung, adaptive Zielführung, Navigation und Steuerung
Kommunikation		nanopartikelbasierte Drahtlosverbindungen	reduzierter Datenverkehr durch erhöhte Rechenleistung an Bord
Sensorik	Bestimmung von Biogefährdungen »Labor auf einem Chip«		automatische Zielerkennung

Quelle: DoD 2007, S. 47

Besonders bei UAVs ist der hohe Anteil von ursprünglich für zivile Zwecke entwickelten Komponenten, z. B. im Bereich der Energiespeicher und Antriebe, auffällig. Durch die militärische Nachfrage gehen durchaus Impulse auf zivile FuE zu diesen Komponenten aus.

Bei UUVs sind ebenfalls zivile technologische Entwicklungen dominierend (zum Folgenden Altmann et al. 2008, S. 135). Einzelne Marinestreitkräfte haben für Spezialaufgaben, wie z. B. Minenräumung, zivile UUVs (aber auch USVs) oder mit in der zivilen Industrie entwickelten Komponenten bestückte neuentwickelte Systeme beschafft. Ein Potenzial für einen Wissens- und Technologietransfer vom militärischen in den zivilen Sektor ist in nächster Zeit nur in geringem Maße zu erwarten, am ehesten im Bereich großer *ferngesteuerter* UUVs, für die, etwa für den Abbau von mineralischen Rohstoffen in der Tiefsee, ziviler Bedarf entstehen könnte. Große *autonome* UUVs bilden einen Schwerpunkt der Aktivitäten zumindest der U.S. Navy, die stark an der Entwicklung von Systemen in den Dimensionen herkömmlicher U-Boote interessiert zu sein scheint (DoN 2004, S. 4, s. a. Kap. II.4.2). Ob hierfür auch zivile Anwendungen zu erwarten sind, ist momentan nicht einschätzbar.

Auch im Bereich der UGVs bestehen vielfältige Möglichkeiten sowohl für einen Technologietransfer über die Grenzen der industriellen Dienstleistungssektoren hinweg als auch vom zivilen in den militärischen sowie (in wahrscheinlich geringerem Umfang) vom militärischen in den zivilen Bereich.

Zunächst sind hier *robotische Systeme* zu nennen. Viele Typen, insbesondere in der Logistik, sind nicht ortsfest. Sie fahren auf Fahrschleifen oder auch autonom in kontrollierten, vordefinierten Räumen. Zahlreiche Technologiekomponenten, insbesondere Sensoren, aber auch Steuerungstechnik, unterscheiden sich nicht prinzipiell von denen für UGVs ohne solche Einschränkungen. Letzteres gilt auch für solche ortsfesten Roboter, die eigenständig auf besondere Situationen reagieren können. Technologisch sind solche robotischen Systeme in vielen Elementen eng mit UMS verwandt. Für beide werden Sensoren, mikromechanische Bauteile, elektronische Bauelemente und oder ähnlich komplexe Steuerungssoftware sowie Fertigkeiten in der Systemintegration benötigt. Es wird verstärkt an Servicerobotern gearbeitet, die mobil und der Lage sein sollen, mit Menschen zu interagieren. Diese dürften Verbesserungen bei der autonomen und sicheren Navigation sowie der autonomen Manipulation mit sich bringen. Der hier entstehende Markt für (zivile) mobile und interaktive Serviceroboter auch in Alltagssituationen ist wirtschaftlich vielversprechend. Solche Systeme ähneln in ihren technologischen Komponenten weitgehend denen militärischer Systeme. Die technologischen Gemeinsamkeiten mit UMS werden damit tendenziell größer (Altmann et al. 2008, S. 136).

Ein anderer verwandter Bereich ist die *teilautonome Steuerung von Fahrzeugen*. Beispielsweise kommen in mehr als 100 Städten weltweit unbemannte Schienenfahrzeuge zum Einsatz. So gibt es in Paris, Turin oder New York auf Teilstrecken einen vollautomatischen U-Bahnbetrieb. In Deutschland wurde 2008 in Nürnberg die erste U-Bahn in Betrieb genommen, die ihre Gäste voll automatisch ans Ziel bringt (Altmann et al. 2008, S. 137). Hauptgründe für den Einsatz werden in erhöhter Sicherheit (die kürzere Taktfrequenzen zwischen den Zügen erlaubt) und Kostenersparnissen durch weniger Personal gesehen.[72]

Ein weiterer dynamischer Markt ist der für *Straßenfahrzeuge*. Neben unterstützenden Technologien wie GPS oder Distanzmelder werden verschiedene (Assistenz-)Systeme angeboten, die den Fahrer kurzzeitig ersetzen, beispielsweise bei Ausfall (Einschlafen) oder markanten Fahrfehlern (Übersteuern). Einparkhilfen sind ein weiteres Beispiel. Dabei kommen UMS-relevante Sensoren (Bilderkennung) und Steuerungssoftware zum Einsatz. Alle großen Automobilkonzerne beschäftigen sich mit der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen, die als Schlüsseltechnologien zur Implementierung von Autonomie in Fahrzeugen ange-

72 Allerdings ist auch eine Reihe von Projekten zur Einführung unbemannter Schienensysteme wegen technischer Probleme und tatsächlich höherer Kosten wieder eingestellt worden (Altmann et al. 2008, S. 137).

sehen werden können. Bereits im Einsatz sind Antiblockiersysteme (ABS) oder die elektronische Schlupfregelung und Stabilisierung (ESP). Marktreif sind Bremsassistenten zur Unfallvermeidung, allerdings bestehen hier zum Teil noch rechtliche Probleme für eine Freigabe im Straßenverkehr. Ähnliches gilt für Systeme zum automatischen Spurwechsel (DFKI/RDE 2008, S. 35).

Soweit erkennbar werden für diese Systeme Technologien genutzt, die sowohl durch zivile wie militärische Finanzierung gefördert wurden. Sollte es zu einer deutlichen Intensivierung der militärischen Forschung und Entwicklung kommen, dürfte davon auch die Automobilwirtschaft profitieren. Diese wiederum arbeitet intensiv daran, die Vision führerloser Lkws und Pkws alltagstauglich zu machen – entsprechendes Know-how und geeignete Technologien und Komponenten stehen auch für die militärische Beschaffung zur Verfügung. Viele weitere zivil entwickelte Technologien sowohl in der Elektronik- als auch in der Softwareindustrie sind dual-use-fähig, da dort die Technologiebarrieren zwischen zivilem und militärischem Sektor nicht sehr hoch sind (Altmann et al. 2008, S. 137).

Als Fazit lässt sich die These formulieren, dass Impulse in Form technischer Entwicklungsfortschritte für innovative Anwendungen bislang eher aus dem zivilen als dem militärischen Bereich zu kommen scheinen. Für die einzelnen UMS-Systeme bzw. die hier relevanten Technologiefelder, ist allerdings zu differenzieren: Bei den integrierten Systemen, insbesondere bei UAVs, UGVs und großen UUVs sind militärische Programme als Innovationstreiber nicht zu unterschätzen (Altmann et al. 2008, S. 137).

INNOVATIONSBLOCKADEN UND -PERSPEKTIVEN 4.2

Das Potenzial ziviler Anwendung von UMS ist beim gegenwärtigen Stand der Technik sowie den gesellschaftlichen und rechtlichen Rahmenbedingungen noch begrenzt. Zudem ist die ökonomische Vorteilhaftigkeit bestimmter Geschäftsmodelle verglichen mit denen bemannter Systeme bislang nur in wenigen Anwendungsfällen zu erkennen. Konkurrenzfähige Geschäftsmodelle mit großen Volumen deuten sich allenfalls an, ein Durchbruch ist kurzfristig nicht zu erwarten. Ursächlich dafür ist, dass die Diffusion von UMS als zivile innovative Produkte – jenseits der noch zahlreichen technischen Probleme – vom Fehlen förderlicher gesellschaftlicher und rechtlicher Rahmenbedingungen gehemmt wird.

Bei UAVs sind vorrangig Defizite bei der Rechtsetzung (z. B. nationaler und europäischer Rechtsrahmen, Zertifizierung, Lizenzierung) sowie das Fehlen einheitlicher, harmonisierter technischer Standards für sicherheitsrelevante Technologien (z. B. Sense-and-avoid-Technologien, Verfahren für den Notfall, z. B. Datenlinkausfall) zu nennen (EC/Frost&Sullivan 2007b, S. 28). Eine Integration von

großen UAVs in den zivilen Luftraum unter Gewährleistung eines gleichen Sicherheitsniveaus wie in der bemannten Luftfahrt ist deshalb noch in weiter Ferne. Dies lag lange auch an einer Art Blockadesituation: Einerseits zögerten die Behörden, aufwendige und teure Zertifizierungs- und Standardisierungsverfahren auf den Weg zu bringen, da erfolgversprechende Anwendungen seitens der Industrie nicht erkennbar waren. Andererseits hielt sich die Industrie bei der Verfolgung ambitionierter Strategien für ein Geschäftsfeld UMS zurück, da keine allgemein und international verbindliche Regulierungsarchitektur für die Nutzung von UAVs im allgemeinen Luftraum existierte (Donnithorne-Tait 2005, S. 77).

Während automatische Start- und Landevorgänge technologisch gelöst sind und zur Routine gehören, bleibt das Erkennen von und das Ausweichen vor anderen Luftfahrzeugen ein zentrales Problem. Als erhebliche Innovationsblockade erweist sich deshalb das Fehlen sicherer und verlässlicher Sense-and-avoid-Systeme zur Vermeidung von Kollisionen im Luftraum. Entsprechende Systeme auf der Basis verbindlicher Standards sind aber unabdingbar, um eine Integration unbemannter Systeme in den internationalen zivilen Luftraum unter Wahrung eines gleichermaßen hohen Sicherheitsstandards technisch zu gewährleisten. Allerdings scheint die Verfügbarkeit für die verschiedenen UAV-Typen noch einige Zeit in Anspruch zu nehmen – Frost&Sullivan beispielsweise rechnen mit 2012/2013 (EC/Frost&Sullivan 2007b, S. 56).

Schließlich wird das Fehlen ausreichender und sicherer Radiofrequenzen mit der erforderlichen Bandbreite für Steuerung und Kommunikation sowie Datenverbindungen zwischen Sensor und Bodenstation noch lange ein Hindernis für das Entstehen eines zivilen Marktes sein. Frühestens 2012 wird die Frage der Zuweisung von Frequenzen auf der Weltkonferenz der International Telecommunications Union (ITU) verhandelt.

Auf den Abbau einiger der genannten Innovationsbarrieren zielt mittlerweile eine Fülle von Aktivitäten nationaler und internationaler Akteure staatlicher und privatwirtschaftlicher Natur, die sich – in unterschiedlichsten Zusammensetzungen – um die Erarbeitung von harmonisierten Regelungen[73], technischen Standards und technologischen Verfahren bemühen. So widmen sich die Arbeitsgruppe 73 der European Organization for Civil Aviation Equipment (EUROCAE) und ihre vier Subgruppen den zentralen Fragen des Betriebs von UAVs einschließlich Sense-and-avoid-Technologien, der Flugtauglichkeit, den Befehls- und Steuerstrukturen im Zusammenhang mit Kommunikationstechnologien und Sicherheit sowie speziell mit UAVs mit einem Gewicht unter 150 kg. Die Arbeitsgruppe 73 kooperiert eng mit der Europäischen Agentur für Luftsicherheit (EASA) in Fragen der Lufttauglichkeit von UAS im gemeinsamen Luftraum. Spiegelbildlich zum zivilen Sektor –

73 Beispielsweise die Initiative von 15 vor allem europäischen Ländern unter dem Namen JARUS (EC 2009, S. 7) bezüglich UAVs unter 150 kg.

teilweise aber auch mit diesem überlappend – wird im militärischen Bereich an gleichartigen Entwicklungen gearbeitet. Die European Defence Agency (EDA) beispielsweise betrachtet UAVs als wichtiges Element der zukünftigen Europäischen Sicherheits- und Verteidigungspolitik und hat deshalb die Harmonisierung der militärischen fliegenden Systeme der Mitgliedstaaten zu einem Schwerpunkt ihrer Forschung gemacht. Seit 2006 hat sie Studien zu Datenverbindungen für UAVs mit langen Einsatzzeiten, Normen, Frequenzzuteilung, Sense-and-avoid-Technologien oder Anforderungen an die (militärischen und zivilen) Nutzlasten vergeben (Altmann 2008, S. 60). In diesem Zusammenhang sind auch die (zivilen) Fördermaßnahmen der EU zu nennen (s. u.; Anhang 2).

Allerdings ist die Vielfalt von Initiativen und Maßnahmen auch ein Problem, da mit vielen Akteuren mit teilweise divergierenden Interessen ein kohärentes Regelwerk und allgemein akzeptierte Technologien mit harmonisierten Standards entwickelt werden sollen (EC/Frost&Sullivan 2007b, S. 40). Die Bemühungen der EUROCAE um geeignete Standards spiegeln recht gut die Herausforderungen, denen sich ihre Arbeitsgruppen bei der Formulierung von Empfehlungen (z. B. zu ATM, Navigation, Funkfrequenzen) gegenübersehen. Ihre vier Arbeitsgruppen setzen sich aus einer Vielzahl von Repräsentanten zuständiger Akteure nicht nur aus Europa, sondern auch aus den USA zusammen. Neben Eurocontrol und EASA sind auch die ICAO[74] und die NATO vertreten. Auch deshalb ist die Aufgabe, im Konsens ein international harmonisiertes Regelwerk in Kraft zu setzen, extrem langwierig. Eurocontrol (2008, S. 2) erwartet dies nicht vor 2020.

Solange insbesondere die genannten Herausforderungen nicht befriedigend bewältigt sind, wird die zivile Nutzung weitgehend auf kleine und leichte UAVs geringer Reichweite und auf Nischenmärkte beschränkt bleiben.

Neben den genannten rechtlichen und technischen Problemen, die gelöst und international abgestimmt werden müssen, gilt es, zahlreiche weitere Rahmenbedingungen für UMS zu gestalten, wie beispielweise geeignete Versicherungsmodelle, ein Kapitalmarkt, der offen für die Finanzierung von innovativen Geschäftsmodellen ist, Schutz der Privatsphäre oder spezifizierte Exportkontrollen zur Risikobegrenzung bei der Proliferation (z. B. Donnithorne-Tait 2010; s.a. Kap. VI.1.2).

Das Sicherheitsproblem hat auch für *UGVs* große Bedeutung, auch wenn sich die Frage nach einer Integration in den zivilen Verkehr noch nicht in der Dringlichkeit wie bei UAVs stellt. Gleichwohl sind schon für »kooperierende Fahrzeuge«, die miteinander Informationen austauschen und für Lkws, die sich in Konvois ferngesteuert bewegen, umfassende rechtliche Fragen zu lösen und neue Ansätze bei der Versicherung solcher Systeme erforderlich (Royal Academy of Engineering 2009). Aufgrund weiterer technologischer Fortschritte könnte dann

74 Die ICAO hat eine UAS-Working Group installiert.

auch der Einsatz intelligenter Fahrzeuge, die autonom selbst über weite Strecken agieren, ihre Umgebung wahrnehmen, Hindernisse erkennen und darauf in geeigneter Weise reagieren, zunehmen[75] (Beck 2009). Dabei ist stärker noch als im Bereich der UAVs zu erwarten, dass sich durch rasch voranschreitende zivile Technologien und Anwendungen (z. B. Serviceroboter[76] und Fahrzeugkontrollsysteme) ein Wissens- und Technologietransfer zu militärischen Systemen ergeben wird.

Spin-off-Effekte sind auch im Sektor der *UUVs* zu erwarten (Altmann et al. 2008, S. 127). Dies ist ein Grund dafür, dass sich die Perspektiven von UUVs als vielversprechend einschätzen lassen, da sie für die beiden maritimen Wachstumsmärkte Meerestechnik (Hydrografie, Meeresforschungstechnik, Offshoretechnik, Unterwassertechnik/Seekabel) und maritime Sicherheit ein gut anschlussfähiges Leistungsprofil bieten.

EXKURS: UAV-PROJEKTE IM RAHMEN VON DEUTSCHEN UND EUROPÄISCHEN FÖRDERPROGRAMMEN

Die öffentliche Hand fördert insbesondere Forschungs- und Entwicklungsbemühungen zur Integration in den zivilen Luftraum sowie zur Konstituierung ziviler (hoheitlicher) Anwendungsfelder und Märkte. Im Folgenden werden – ohne Anspruch auf Vollständigkeit – aktuelle Projekte vorgestellt.

Deutschland

Für die zivile Nutzung stellen in Deutschland vor allem das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS) sowie das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) Fördergelder bereit. (Eine Zusammenstellung aktueller Fördermaßnahmen gibt Anhang 3.)

Das BMBF finanziert beispielsweise mit etwa 5,7 Mio. Euro zwei Projekte im Rahmen des Katastrophenschutzes: Mit dem Projekt »Airshield«[77] wird u. a. die Eignung von UAVs für den Katastrophenschutz im Falle eines unkontrollierten Austritts von gasförmigen Schadstoffen geprüft. Das Projekt »SOGRO« , an

75 Hin und wieder wird argumentiert, dass die zu erwartende steigende Autonomie der Systeme einhergeht mit Abnahme menschlicher Intervention, und dass die dadurch bewirkte Kostensenkung – attraktive Geschäftsmodelle vorausgesetzt – das Tempo von Innovation und Diffusion bei allen Systemen beschleunigen wird (Jewell 2006, S. 71).

76 Solche robotischen Systeme zeichnen sich nicht nur durch Beweglichkeit, sondern auch durch Interaktivität aus – ermöglicht z. B. durch Sprach- und Gesichtserkennungstechnologien. Immer bessere Steueralgorithmen wirken zusammen mit neuen Sensoren, schnellen Prozessoren und weiteren Technologien (z. B. Sharkey 2008c, S. 1800).

77 Aus Platzgründen werden im Folgenden die Akronyme verwendet. Die vollständigen Projektbezeichnungen sowie detailliertere Informationen zu den Fördergeldern und Projektlaufzeiten sind den Tabellen im Anhang zu entnehmen.

dem das Deutsche Rote Kreuz, die Siemens AG, die Andres Industries AG sowie einige deutsche Universitäten beteiligt sind, untersucht den Einsatz von UAV-Schwärmen zur Unterstützung von Einsatzkräften bei Großschadenslagen mit einem Massenanfall von Verletzten. Außerdem fördert das BMBF die Hochschule Ravensburg-Weingarten mit ca. 258.000 Euro bei der Entwicklung neuer Algorithmen und Werkzeuge zur Regelung und Automatisierung autonomer unbemannter Fluggeräte. Ebenfalls im Themenfeld Katastrophenschutz hat das BMWi mit insgesamt rund 1,7 Mio. Euro das Projekt »Next UAV« des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt sowie der Technischen Universität Braunschweig gefördert, dessen Inhalt die Navigation von tiefffliegenden UAVs zur Exploration in Katastrophenszenarien ist.

Das BMVBS förderte zusammen mit dem Bundesministerium des Innern (BMI) ein Konsortium, u. a. bestehend aus der Deutschen Flugsicherung, der Firma EMT und dem Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung, deren im Jahr 2009 abgeschlossene Studie »VUSIL« mit Simulations- und Flugversuchsstudien die Möglichkeiten zur Integration von UAV in den Luftraum erforschte.

Ein Beispiel für Bundesländeraktivitäten ist die Hansestadt Bremen: Diese definiert das Forschungsfeld Robotik als landeseigenen Forschungsschwerpunkt. Es wurden etwa 2,4 Mio. Euro an Landesfördergeldern für das Projekt »goCart« vergeben. Ziel des Forschungsvorhabens ist es, einerseits eine Infrastruktur für die Entwicklung von Flugrobotern für die zivile Anwendung (z. B. zur permanenten Überwachung bestimmter, Küstenschutz relevanter Gebiete) aufzubauen, andererseits drei exemplarische Anwendungen prototypisch zu entwickeln.

Europäische Union

Auf EU-Ebene gibt es eine Vielzahl an geförderten UAV-Projekten, von denen an dieser Stelle nur einige herausgegriffen werden.[78] Die Projekte lassen sich grob in vier thematischen Cluster einordnen: Regulierung und Management des Luftraums, Kommunikationstechnologien zur Verbesserung der Steuerung von UAVs, Verbesserung der Flugtechnik und Erprobung ziviler Anwendungen. Die dominierenden Vertragspartner bei der Durchführung der Projekte sind die großen Unternehmen der Luftfahrt- und Rüstungsindustrie, wie z. B. EADS Defense & Security (jetzt Cassidian) oder Thales.[79]

Das mit Abstand größte Vorhaben ist das Projekt »Single European Sky ATM Research« (SESAR), dessen veranschlagte Kosten von 2,1 Mrd. Euro sich Eurocontrol, die Europäische Kommission, die Agentur für ein »transeuropäisches Transportnetzwerk« sowie einige Industrieteilnehmer teilen. Das Ziel ist die

78 Eine umfassendere Zusammenstellung EU-geförderter Projekte befindet sich in Anhang 2.

79 Eine Auflistung der beteiligten Vertragspartner zu jedem Projekt befindet sich in der Tabelle im Anhang.

Entwicklung eines modernisierten Air Travel Managements (ATM) des europäischen Luftraums bis 2020. Dabei spielen vor allem die Arbeitspakete »En-Route Operations« zur Entwicklung von Konzepten für Operationen im Luftraum und »Aircraft Systems« zur Entwicklung, Validierung und Identifikation von Funktionen und technischen Lösungen für die Anforderungen an die Flugtüchtigkeit von Luftfahrzeugen und die Einbindung von UAVs in den Luftverkehr eine große Rolle.

Bezüglich der Kommunikationsinfrastruktur für UAVs sind im 7. Forschungsrahmenprogramm der Europäischen Kommission zwei Projekte enthalten. PLANET zielt auf die Planung einer Plattform, die die Entwicklung, den Einsatz und die Instandhaltung großer kooperativer Systeme aus unbemannten, über kabellose Netzwerke kommunizierenden Luftfahrzeugen, ermöglichen soll (und mit 4,9 Mio. Euro gefördert wird. Das mit 100.000 Euro geförderte Projekt »CLOVISEN« ist mit der Optimierung von Sensornetzwerken sowie der Kommunikation mit einer Zentralstation befasst. Außerdem führte das mit der EDA kooperierende Air4All-Konsortium eine mit ca. 1,5 Mio. Euro geförderte Studie zur Definition einer europäischen Position bezüglich der Funkfrequenzen für UAVs und deren Integration in den kontrollierten Luftraum im Rahmen der Weltfunkkonferenz 2012 durch.

Entsprechend der hohen Bedeutung einer verlässlichen Sense-and-avoid-Technologie für eine Integration von UAS in den Luftraum stellt das von der EDA seit 2008 geförderte Projekt »MIDCAS« mit ca. 50 Mio. Euro das umfangreichste Projekt dar. Dessen Ziel ist es, einen auch für die bemannte Luftfahrt akzeptablen Standard für eine Funktion zur Vermeidung von Kollisionen in der Luft zu demonstrieren.

Für Projekte der *nichtmilitärischen Nutzung* von UAVs steht vor allem die Eignung als Überwachungstechnik im Vordergrund. Speziell mit dem Thema Grenzschutz befasst sich die EU-Grenzschutzagentur FRONTEX im Blick auf den Aufbau einer gesamteuropäischen Grenzüberwachungsinfrastruktur (EUROSUR). Im 7. europäischen Forschungsrahmenprogramm sind mit »TALOS«, »WIMAAS« und »OPARUS« drei Projekte enthalten, die sich mit der Überwachung europäischer Grenzen beschäftigen und für die eine Fördersumme von etwa knapp 17 Mio. Euro veranschlagt ist. Zur Überwachung einer urbanen Umgebung wurde im 7. Forschungsrahmenprogramm das Projekt »INDECT« beauftragt. Dieses soll verschiedene Überwachungstechnologien für eine proaktive Polizeiarbeit bündeln und dabei UAVs als fliegende Kameras integrieren. Das Projekt wird mit fast 11 Mio. Euro gefördert.

Weiterhin sind im Bereich Monitoring die Projekte »AGRIC-LASERUAV«, »IMPACTMIN« und »HYDROSIS« definiert. Diese befassen sich mit der Nutzung von UAVs. in der Präzisionslandwirtschaft, dem Monitoring ökologischer Auswirkungen des Bergbaus und dem Erstellen einer Systeminfrastruktur zur Unterstützung des Monitorings von (katastrophalen) Veränderungen in der

Umwelt. Diese Projekte belaufen sich auf etwa 7,7 Mio. Euro. Im 6. Forschungsrahmenprogramm lag das Augenmerk auf der Unterstützung durch UAV in Gefahrensituationen. Die Projekte »GUARDIANS« und »FIREROB« befassten sich mit dem Schutz und der Unterstützung eines Missionsleiters sowie der Entwicklung eines UAVs zur Feuerbekämpfung und kosteten rund 5 Mio. Euro. Schließlich ist – ebenfalls im Rahmen des 7. Forschungsrahmenprogramms – ein Projekt mit einer Fördersumme von etwa 2,3 Mio. Euro vorgesehen, dessen Ziel das Design einer Multimediaarchitektur ist (SKYMEDIA). Diese soll dem Publikum einer Liveveranstaltung neuartige mediale Erlebnisse bieten, wobei für die Systemarchitektur auch UAVs vorgesehen sind.

Fazit

Der Großteil der geförderten Maßnahmen im Bereich UAV gilt deren Integration in den Luftraum. Dies umfasst die Anpassung von Regularien und Managementsystemen für den Luftraum, aber auch technische Verbesserungen: Zum einen sollen geeignete Kommunikationstechnologien entwickelt werden, um z. B. Verbindungsabbrüche zwischen UAV und Kontrollstation zu verhindern. Zum anderen wird an optimierter Flugtechnik geforscht. Vor allem zuverlässige Sense-and-avoid-Technologien sollen entwickelt werden, um einen sicheren Flugverkehr mit UAVs im kontrollierten Luftraum zu gewährleisten. Die Förderung im Bereich nichtmilitärischer Anwendungen ist durch Projekte charakterisiert, die UAVs in die Überwachung von Grenzen und urbanen Räumen integrieren, Möglichkeiten des Umweltmonitorings erweitern und Unterstützung der Einsatzkräfte in Katastrophenszenarien durch UAVs leisten sollen.

UNBEMANNTE SYSTEME UND NATIONALE WEHRTECHNISCHE FÄHIGKEITEN 4.3

In einer »Gemeinsamen Erklärung des Bundesministeriums der Verteidigung und des Ausschusses Verteidigungswirtschaft im Bundesverbandes der Deutschen Industrie e.V. zu den Nationalen Wehrtechnischen Kernfähigkeiten« werden 14 unverzichtbare nationale wehrtechnische Kernfähigkeiten *auf Systemebene* sowie drei Kernfähigkeiten *auf Subsystemebene* festgehalten (Gemeinsame Erklärung 2007). Die für diese wehrtechnischen Kernfähigkeiten relevanten industriellen Kapazitäten sollen dabei den »Anforderungen der aktuellen und auch des notwendigen militärischen Bedarfs in absehbaren künftigen Szenarien genügen« (Gemeinsame Erklärung 2007, S. 3).[80]

80 Auch hat der BDLI (2009) ein militärisches Luftfahrttechnologieprogramm vorgestellt. Einer der (insgesamt acht) möglichen Schwerpunkte eines solchen Technologieprogramms sind »Plattformtechnologien (Flugzeuge, Hubschrauber), UAV/Drohnen, übergreifende Aspekte«).

Die Anforderungen der Bundeswehr sind abgeleitet aus den in der Konzeption der Bundeswehr festgelegten sechs militärischen Fähigkeiten: Führungsfähigkeit, Nachrichtengewinnung und Aufklärung, Mobilität, Wirksamkeit im Einsatz, Unterstützung und Durchhaltefähigkeit, Überlebensfähigkeit und Schutz abgeleitet. Sie umfassen ein weites Feld von Aufgaben, sodass sich aus ihren Prioritäten für bestimmte Technologien, die in Deutschland gefördert werden sollten, nicht unmittelbar ableiten lassen. Entsprechend deckt die Liste der wehrtechnischen Kernfähigkeiten fast das gesamte Spektrum an Rüstungstechnologie, über das die Bundeswehr verfügt bzw. in den nächsten Jahren verfügen möchte, ab.[81] Das gemeinsame Papier von Verteidigungsministerium und Rüstungsindustrie benennt keine Prioritäten und nimmt keine Zuordnung von Branchen oder Unternehmen zu den Anforderungen bzw. Fähigkeiten vor. Stattdessen soll angestrebt werden, in einem kontinuierlichen Prozess gemeinsam Anpassungen an neuen Bedarfslagen und weitere technologische Entwicklungen vorzunehmen (Gemeinsame Erklärung 2007, S. 3).

TAB. 26 WEHRTECHNISCHE BEDEUTUNG WICHTIGER UNBEMANNTER SYSTEME DER BUNDESWEHR

Funktionsbereich	System	Fähigkeiten/Ziele
luftgestützte signalerfassende Aufklärung	Nachfolge BR 1150 SIGINT (Euro Hawk)	Sicherung bedeutender rüstungsindustrieller Fähigkeiten und Kapazitäten
abbildende Aufklärung	Advanced UAV (SAATEG)	Erhalt/Ausbau industrieller wehrtechnischer Fähigkeiten auf System- und Subsystemebene
Seeminenabwehr	Projekt AUV	langfristiger Erhalt der Systemfähigkeit, Wahrung von Exportchancen
taktische Aufklärung	Weiterentwicklung MIKADO, ALADIN, LUNA, KZO	Erhaltung wettbewerbsfähiger Konkurrenz
Wirksamkeit im Einsatz	Wabep	Erhaltung wettbewerbsfähiger Konkurrenz

Quelle: eigene Darstellung nach BMVg 2007 u. 2008

Den genannten Fähigkeitskategorien zugeordnet sind UAVs und autonome UUVs, UGVs werden nicht explizit erwähnt. Für die »raumgestützte Aufklärung«, die

81 Der Bundeswehrplan 2008 vermerkt hierzu, dass »der Erhalt aller wehrtechnischen Fähigkeiten im Rahmen des investitiven Anteils des Einzelplans 14 voraussichtlich nicht zu leisten sein wird« (BMVg 2007, S. 34).

an erster Stelle der Kernfähigkeiten steht, nehmen Satelliten eine zentrale Rolle ein. Hier gilt das Radarfernerkundungssystem SAR-Lupe als eines der Kernelemente, das die Fähigkeit zur Erstellung eines eigenen »nationalen« Lagebildes bei Auslandseinsätzen gewährleisten soll. Daneben aber sind für die Sicherstellung von Fähigkeiten der Nachrichtengewinnung und Aufklärung auch UAVs bzw. Drohnen genannt. Sie werden als fünfte Kernfähigkeit aufgelistet, autonome UUVs gemeinsam mit U-Booten als zehnte Kategorie.

Die hohe Bedeutung nationaler wehrtechnischer Kernfähigkeiten wird in der Regel aus einer Reihe von Gründen abgeleitet. Dabei handelt es sich um beschäftigungspolitische Gründe oder auch um Erwägungen, in sicherheitsrelevanten Bereichen zur Wahrung nationaler Interessen unabhängig von anderen zu bleiben. Gründe werden aber auch im europäischen und internationalen Kontext der wehrtechnischen Industrie verortet. Eigene Fähigkeiten werden als unverzichtbar deshalb angesehen, weil nur so Einfluss auf Entwicklung, Beschaffung und Betrieb von leistungsstarken wehrtechnischen Systemen genommen und in wichtigen internationalen militärischen Programmen die Durchsetzungs- und Kooperationsfähigkeit langfristig gesichert werden könnten (z. B. BDLI 2009, S. 17; BMVg 2009, S. 34).

Systemfähigkeit, als Fähigkeit, ein komplexes Waffensystem Fluggerät und dazugehörige Elektronik, Sensoren und Radar vollverantwortlich zu entwickeln und herzustellen, gilt als wichtigster Aspekt einer Kernfähigkeit. Anders als in der Satellitenindustrie ist in Deutschland im Bereich von UAVs im HALE- und MALE-Segment Systemfähigkeit nur bedingt zu erkennen. Für größere Systeme wurden bisher Kooperationen eingegangen, wie im Fall des Euro Hawk, wo zur Fertigung des Euro Hawk Demonstrator Systems EADS und Northrop Grumman zusammenarbeiteten.[82] Die deutsch-spanische Kooperation beim »Barracuda«, die Zusammenarbeit von Deutschland, Frankreich und Spanien beim »Talarion« sowie die multinationale Zusammenarbeit beim Technologiedemonstrator »nEUROn« sind weitere aktuelle Beispiele. Mit den beiden letztgenannten Aktivitäten verbindet sich insbesondere das Ziel, die System- und Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Industrie auf diesem Markt zu demonstrieren und weiter zu entwickeln (Kap. II.3). Deutsche Firmen sind aber in der Lage, kleine und mittlere UAV-Systeme zu bauen. Hier ist beispielhaft EMT zu nennen, das als europaweit einziges nationales Unternehmen den Streitkräften ein System anbieten konnte sowie auch Exporterfolge aufweist.

Im Bereich von UUVs wie UGVs hat die deutsche Rüstungsindustrie ebenfalls Systemfähigkeit bei kleineren und mittleren Systemen. So ist Atlas Elektronik, ein gemeinsames Unternehmen von EADS und Thyssen Krupp, der führende deutsche Hersteller von Marineelektronik. Die Firma verfügt über allgemein an-

82 Vergleichbar ist die Situation in Großbritannien im Fall des »Watchkeeper-Programm«, das auf der israelischen Hermes-450-Plattform aufsetzt.

erkannte Kompetenzen bei unbemannten Unterwasserfahrzeugen (z. B. mit Sea Otter MK II und Sea Wolf). Seit 2006 setzt man verstärkt auf die Entwicklung von »Autonomous Underwater Vehicles« und will sich im Bereich »Maritime Security« engagieren.

Die deutsche Rüstungsindustrie erwartet, dass sowohl der Markt für militärische UAVs als auch für militärische USV/UUVs in der Zukunft lukrativer wird, als er gegenwärtig ist. Neben der Bundeswehr als Nachfrager und den europäischen Markt als Referenzmärkte setzt die Industrie dabei auch auf Exporte. Das Bundesverteidigungsministerium hat der deutschen Rüstungsindustrie hierbei Unterstützung zugesagt. Angesichts der hohen Kostenbelastung durch eigene, erhebliche Aufwendungen bei Forschung und Entwicklung sowie eines scharfen Wettbewerbs wurde seitens der Industrie gefordert, auf mindestens drei Ebenen die nationalen wehrtechnischen Kompetenzen im Bereich der fliegenden unbemannten Systeme zu stützen: durch Gestaltung spezifischer (administrativer) Rahmenbedingungen, durch forschungspolitische Maßnahmen sowie flankierende wirtschaftspolitische Aktivitäten (DFKI/RDE 2008, S. 106 ff.)

Erweitert man die Perspektive auf alle drei UMS-Typen, böte sich analog hierzu an, übergreifend für mobile robotische Systeme ein entsprechendes interministerielles Konzept in Erwägung zu ziehen. Einzelziele und -maßnahmen wie die Schaffung eines verbindlichen nationalen Regelwerks für Zulassung und Betrieb, abgestimmte Fördermaßnahmen oder die Unterstützung für Referenzanwendungen im hoheitlichen Bereich (im Blick auf die Konstituierung eines Leitmarkts) müssten dabei eine stimmige Gesamtstrategie ergeben. Allerdings setzte eine aktivere Rolle des Staates eine Neuausrichtung der bislang verfolgten zurückhaltenden Politik voraus. Grundlagen und Konzepte hierfür müssten noch erarbeitet werden (Kap. VII).

EXKURS: WICHTIGE HERSTELLER IN DEUTSCHLAND

Die auf dem Gebiet der unbemannten Systeme tätigen Firmen lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen. Zum einen die großen Rüstungsfirmen, die auch UMS in ihrem Portfolio führen, und zum anderen meist kleinere Firmen, die sich auf unbemannte Systeme spezialisiert haben, einige bisher nur auf zivilem Gebiet.

Mit Abstand größter Hersteller ist EADS, ein weltweit führendes Unternehmen der Luft- und Raumfahrt sowie im Rüstungsgeschäft und dazugehörigen Dienstleistungsbereich. Im September 2010 wurde die Verteidigungs- und Sicherheitssparte EADS Defence & Security in Cassidian umbenannt. Angeboten werden weltweit Sicherheitslösungen, sowohl für den zivilen als auch den militärischen Markt. Im Jahr 2009 wurde mit rund 28.000 Mitarbeitern ein Umsatz von 5,4 Mrd. Euro erzielt. Aufgrund des breiten Portfolios der Firma war der Anteil von UAVs am Gesamtumsatz gering. Bei EADS und in ihren Tochterfirmen wird eine Reihe von Drohnen entwickelt und gefertigt. Im HALE-Bereich ist der Euro

Hawk, ein Joint Venture mit Northrop Grumman, im Programm. Talarion und Harfang decken den MALE-Bereich ab und Atlante bzw. Tracker werden im Mini-UAV-Bereich angeboten. Als Technikdemonstrator dient das System Barracuda.

Rheinmetall Defence Electronics GmbH (RDE), in der die UMS-relevanten Aktivitäten (UAV und UGV) des Rheinmetall-Konzerns konzentriert sind, erwirtschaftete 2009 einen Umsatz von rund 1,9 Mrd. Euro mit etwa 9.300 Mitarbeitern weltweit. RDEs wichtigstes Produkt war über viele Jahre hinweg die Zieldrohne KZO. Auch wird im MALE-Bereich das UAV Heron 1 angeboten, das von der Bundeswehr in Afghanistan eingesetzt wird. Im UGV-Sektor bietet RDE die Produkte Foxbot und Trobot an, die beide zur Aufklärung eingesetzt werden können.

Die Firma Diehl BGT Defence vertreibt UMS, wie z. B. den Mini-UAV Camcopter, einen Drehflügler, auf der Basis einer Zusammenarbeit der Firmen Diehl BGT Defence, Schiebel Elektronische Geräte und M4Com. Außerdem werden auch die Systeme Mustang (UGV) und DAVID (UUV) angeboten. Mit ca. 1.700 Mitarbeitern wurde 2009 ein jährlicher Umsatz von etwa 460 Mio. Euro erwirtschaftet.

Zu den kleineren, auf UMS-Technologien spezialisierten Firmen gehört die AirRobot GmbH & Co. KG, deren AirRobot (Micro-UAV) bei der Bundeswehr, bei der Polizei in NRW sowie beim THW im Einsatz ist. Mavionics GmbH, ein Spin-off-Unternehmen der Universität Braunschweig, vertreibt seine Carolo-Mini-UAV-Serie zivil. Die 2005 gegründete Firma Microdrones GmbH konnte ihr UAV-System md4-200 nach eigenen Angaben bereits rund 300-mal verkaufen. Daneben wird auch ein größeres, leistungsstärkeres System, der md4-1000, angeboten. Die größte der UAV-Spezialfirmen ist die EMT Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH, die verschiedene Typen von Drohnen entwickelt und fertigt. Die Systeme ALADIN, LUNA und Fancopter sind bei der Bundeswehr im Einsatz. Darüber hinaus werden auch weitere Produkte im taktischen UAV-Bereich entwickelt.

Die Firma Telerob Gesellschaft für Fernhantierungstechnik GmbH ist auf UGVs spezialisiert, hauptsächlich im Bereich der Entschärfungstechnik mit den Modellen telemax und tEODor. Angeboten wird auch das System OSCAR für Aufklärungsmissionen und für den Umgang mit gefährlichen Substanzen eine Lösung mit dem Namen NBCmax. Der Umsatz im Jahr 2009 betrug 31 Mio. Euro.[83]

Auf UUVs konzentriert sich Atlas Elektronik. In dessen Portfolio befinden sich aktuell sieben UUVs, vom kleinen Seafox C bis zum großen Seaotter MK II D. Das Unternehmen beschäftigt in Deutschland ca. 1900 Mitarbeiter und hat einen Umsatz von etwa 440 Mio. Euro (Anhang 4).

83 Verschiedenen Presseberichten zufolge ist Telerob von der britischen Firma Cobham gekauft worden.

UNBEMANNTE SYSTEME IM LICHT VORBEUGENDER RÜSTUNGSKONTROLLE VI.

Viele Analysen des internationalen Staatensystems haben gezeigt, dass politisch-militärische Rivalität und technologische Fortschritte bei militärischen Systemen oftmals dynamisch zusammenwirken. Diese Dynamik kann die Stabilität politischer und militärischer Gleichgewichte – insbesondere in internationalen und regionalen Krisen – gefährden sowie die Vertrauensbildung im internationalen Staatensystem beschädigen. Im Zeitalter globalisierter Märkte mit einer raschen Diffusion modernster Technologien verdient dieser Umstand verstärkt Beachtung (hierzu und zum Folgenden Petermann et al. 1997, S. 14).

Zahlreiche Beispiele belegen, dass neue Waffentechnologien und damit die Verbesserung und Erweiterung des Spektrums militärischer Optionen Bedrohungswahrnehmungen förderten, destabilisierend wirkten, Anlässe für Aufrüstung waren oder bestehende Rüstungskontrollvereinbarungen gefährdeten. Neue waffentechnologische Entwicklungen und Systeme wirkten beispielsweise in Zeiten der Blockkonfrontation destabilisierend auf das System der gegenseitigen Abschreckung, da sie die Vorteile eines Überraschungsangriffs erhöhten oder die Rüstungskontrolle erschwerten. Destabilisierung war häufig Folge mehrerer paralleler technisch bedingter Entwicklungen, wie z. B. die Einführung von Langstreckenraketen, der Übergang zu Mehrfachgefechtsköpfen oder die Erhöhung der Zielgenauigkeit von Trägersystemen. Auch als defensiv legitimierte Systeme zur Abwehr ballistischer Raketen erzeugten bereits damals destabilisierende Wirkungen, weil sie in einer Krise die Wahrscheinlichkeit eines Erstschlags erhöhen. Verstärkt wurde dieser Effekt durch neue offensive Systeme (Interkontinentalraketen mit Mehrfachsprengköpfen).

Es ist deshalb angezeigt, berechtigte Sicherheitsinteressen abzuwägen gegen riskante Konsequenzen, und problematische Entwicklungen wären beizeiten durch die politische Gestaltung entsprechender Rahmenbedingungen zu verhindern oder zu begrenzen. Durch eine frühzeitige Analyse und Beurteilung von militärrelevanten Technologien sowie von potenziellen bzw. schon realisierten militärischen Anwendungen könnten hierfür die notwendigen Informations- und Wissensgrundlagen gelegt werden. Dies sollte auch für UMS gelten, ist es doch das erklärte Ziel der Vereinigten Staaten von Amerika ebenso wie der meisten ihrer europäischen Partner (Schörnig 2010), den Anteil unbemannter militärischer Systeme als Sensor- wie Waffenträger in Zukunft weiter zu erhöhen und bemannte Systeme in großem Umfang zu ersetzen. Auch weitere Akteure im internationalen Staatensystem planen und handeln im Blick auf dieses Ziel. Unbemannte Systeme werden als entscheidende Elemente auf den Kriegsschauplätzen der Zukunft eingeschätzt. Entsprechend intensiv sind die Anstrengungen, die

weltweit unternommen werden, um im Wettlauf um die leistungsfähigsten Systeme mit vorne dabei zu sein.

ZIELE UND KRITERIEN EINER SICHERHEITS- UND RÜSTUNGSKONTROLL-POLITISCHEN BEURTEILUNG VON UMS

Erhalt/Weiterentwicklung effektiver Rüstungskontrolle, Wahrung der Prinzipien des Völkerrechts im Blick auf die Vermeidung

- der Verletzung bestehender oder beabsichtigter Rüstungs- und Exportkontrollregime,
- von Verstößen gegen bestehende Völkerrechtsnormen.

Erhalt und Förderung von globaler und regionaler Stabilität im Blick auf die Reduzierung

- destabilisierender/riskanter Effekte auf die regionale und internationale Sicherheit infolge qualitativer Aufrüstung,
- der Gefährdung von Krisenstabilität,
- von Risiken horizontaler oder vertikaler Proliferation/Diffusion von Technologien, Systemen oder Know-how mit Rüstungsrelevanz.

Gefahrenprävention in Bezug auf substaatliche Akteure

Im Folgenden werden UMS aus der Perspektive einer vorbeugenden Rüstungskontrolle[84] – angelehnt an Altmann et al. (2008, S. 201 ff.) – einer Beurteilung unterzogen, und diese wird zur Diskussion gestellt.[85]

Dazu wird zunächst geprüft, ob und unter welchen Umständen bestehende Rüstungskontrollverträge und Exportkontrollvereinbarungen für UMS von Relevanz sind. Diskutiert wird insbesondere, ob bestimmte Regelungen auf UMS anwendbar sind bzw. ob Regelungslücken bestehen (Kap. VI.1). Im Anschluss daran wird analysiert, ob und in welcher Hinsicht ein Einsatz unbemannter Systeme im bewaffneten Konflikt als völkerrechtlich zulässig gelten kann (Kap. VI.3). Abschließend wird erörtert, ob die Verbreitung unbemannter Systeme nichtintendierte problematische Folgen (z. B. für die Stabilität oder in Form neuartiger Bedrohungen durch den Terrorismus) haben könnte (Kap. VI.3).

84 Ein Projektverbund, bestehend aus Arbeitsgruppen der Universitäten Hamburg, Dortmund und der TU Darmstadt, hat Methoden, Kriterien und Konzepte für präventive Rüstungskontrolle entwickelt (Neuneck/Mölling 2005).

85 Die Bundesregierung (2009c, S. 12) vertritt die dezidierte Ansicht, dass keine sicherheits- und rüstungskontrollpolitischen Folgen und keine Auswirkungen auf das Humanitäre Völkerrecht zu erkennen seien. Auch bewertet sie die Wahrscheinlichkeit, dass sich nichtstaatliche Akteure unbemannter Systeme kurz- oder mittelfristig bedienen »als gering«.

RÜSTUNGS- UND EXPORTKONTROLLVERTRÄGE UND IHRE RELEVANZ FÜR UNBEMANNTE SYSTEME 1.

RÜSTUNGSKONTROLLVERTRÄGE 1.1

Die Rüstungskontrollverträge und -aktivitäten der letzten Jahrzehnte haben nicht nur zu einer Verrechtlichung von Verhaltensnormen geführt, sondern auch zur Etablierung von Verfahren sowie zur Gründung von Organisationen zur Stärkung und Einhaltung der multilateralen Vereinbarungen (z. B. Internationale Atomenergie-Organisation [IAEO], Organisation für das Verbot chemischer Waffen [OVCW] oder Comprehensive Test Ban Treaty Organisation [CTBTO]). Während Abrüstung auf die »greifbare Beseitigung oder Verminderung von Rüstungen in realen Mengen« abzielt, geht es bei Rüstungskontrolle darum, »Sicherungen gegen das Risiko des Gewaltausbruchs zu installieren« (Neuneck/Mutz 2000, S. 98 u. 100). Die nachprüfbare Beschränkung militärischer Optionen und konkreter Waffensysteme (ggf. ihr vollständiges Verbot) sowie die damit verbundene Wechselseitigkeit der Verpflichtungen der Vertragspartner sind die übergreifenden Ziele von Rüstungskontrollverträgen. Weitere wichtige Funktionen – neben der Kriegsverhütung – sind eine bessere Vorhersagbarkeit des Verhaltens eines Kontrahenten, eine effizientere Eindämmung der Verbreitung risikoreicher neuer Waffensysteme und die Eingrenzung neuer riskanter Rüstungsentwicklungen (Altmann et al. 2008, S. 163). Die heutige Rüstungskontrollarchitektur stellt trotz erheblicher Rückschläge ein umfassendes und in Teilen durchaus wirksames System von Verhaltensanforderungen, Durchsetzungsmechanismen und institutionellen Verfahren und Sicherungen dar.

UMS als Waffenkategorie existierten noch nicht, als die für Trägersysteme relevanten Rüstungskontrollverträge (s. u.) abgeschlossen wurden. Allerdings sind (bewaffnete) UAVs in mancherlei Hinsicht vergleichbar mit Marschflugkörpern (Cruise Missiles) und Kampfflugzeugen, die von Verträgen reguliert werden (Gormley/Speier 2003, S. 7). Panzer oder gepanzerte Fahrzeuge sowie Kampfflugzeuge und -hubschrauber sind Regelungsgegenstand der Verträge – unabhängig davon ob sie bemannt oder unbemannt sind. Im Folgenden wird deshalb geprüft, ob es vertragliche Regelungen gibt, die auf UMS anwendbar sind oder angewandt werden könnten. Die relevanten Verträge, die Verbotstatbestände enthalten bzw. ermöglichen, unter die sich UMS gegebenenfalls subsumieren lassen, sind:

- das multilaterale Chemiewaffen-Übereinkommen von 1993, das Entwicklung, Herstellung, Besitz, Weitergabe und Einsatz chemischer Waffen verbietet sowie Deklarierung und Zerstörung vorhandener Bestände regelt;

- das Biologische-Waffen-Übereinkommen von 1972, das Entwicklung, Herstellung und Lagerung biologischer Waffen verbietet;
- der Weltraumvertrag von 1967, der Massenvernichtungswaffen im Weltraum verbietet;
- der bilaterale New START-Vertrag und der SORT-Vertrag in der Nachfolge der START-Verträge von 1991 und 1993 zur Begrenzung der Zahl der nuklearstrategischen Bomber, ballistischen Raketen und Marschflugkörper;
- der vollständig umgesetzte INF-Vertrag von 1987, der Mittelstreckenraketen und landgestützte Marschflugkörper vollständig verbietet;
- 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-Vertrags (A-KSE) bei bestimmten konventionellen Waffensystemen die Obergrenzen aus den Zeiten des Kalten Krieges durch nationale und territoriale Obergrenzen.

Außerdem enthalten das Wiener Dokument über vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen und andere im Rahmen der OSZE sowie der UNO geltende Vereinbarungen Regeln, die für UMS relevant sind (zum Folgenden Altmann et al. 2008, S. 169 ff.).

Das Chemiewaffenübereinkommen

Das multilaterale Übereinkommen über das Verbot der Entwicklung, Herstellung, Lagerung und des Einsatzes chemischer Waffen und über die Vernichtung solcher Waffen von 1993, das am 29. April 1997 in Kraft trat, verbietet die Entwicklung, die Herstellung, den Besitz, die Weitergabe und den Einsatz chemischer Waffen. Zudem regelt es die Deklarierung, Verifikation und Zerstörung vorhandener Bestände. 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

»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 und UAVs, die über Sprüheinrichtungen und Tanks verfügen, um toxische Chemika-

lien zu verteilen. Entscheidend ist hier die beabsichtigte Verwendung der Waffen, die sogenannte »allgemeine Zweckbestimmung« (»General Purpose Criterion«).[86]

Das Biologische Waffen- und Toxinwaffenübereinkommen

Das Übereinkommen über das Verbot der Entwicklung, Herstellung und Lagerung bakteriologischer (biologischer) Waffen und Toxinwaffen sowie über die Vernichtung solcher Waffen durch ein umfassendes Verbot vom 10. April 1972 soll die Herstellung und Verbreitung von biologischen Waffen verhindern. Bis heute gibt es keinen verpflichtenden Überwachungsmechanismus, folglich auch keine Überprüfungsorganisation wie im Falle des C-Waffen-Übereinkommens.

Jeder der 163 Vertragsstaaten verpflichtet sich nach 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.«

Damit unterfallen dieser Bestimmung auch bemannte oder unbemannte Systeme, insofern sie für den Einsatz oben genannter Agenzien »für feindliche Zwecke oder im bewaffneten Konflikt bestimmt sind«, d. h., auch hier gilt die »allgemeine Zweckbestimmung«.

Der Weltraumvertrag

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 anderer Himmelskörper«, kurz Weltraumvertrag (WRV),[87] 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. Artikel IV Absatz 2 bestimmt, dass der Mond und die anderen Himmelskörper ausschließlich »zu friedlichen Zwecken« genutzt werden sollen. Die USA und europäische Staaten

86 Für das Ziel und die Einhaltung dieser Bestimmung ist sicher problematisch, dass durch die modulare Konstruktion vieler Systeme Tanks und Sprüheinrichtungen als zusätzliche Elemente relativ kurzfristig eingerüstet werden können.

87 Eine neuere Gesamteinschätzung gibt Schladebach (2008).

legen den Begriff »friedlich« im Sinne von »nichtaggressiv« aus. So gesehen ließen sich »defensive« militärische Aktivitäten rechtfertigen. 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.« 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 ist, d. h., nur dort sind aggressive militärische Aktivitäten verboten. Konventionelle Raketenabwehrtechnologien, die im Weltraum getestet und eingesetzt werden, sind demnach nicht verboten. Manövrierbare Kleinsatelliten, Marschflugkörper, die den Weltraum oder die oberen Schichten der Atmosphäre durchqueren, oder andere unbemannte Systeme, die keine MVW tragen, sind folglich erlaubt. Solche unbemannten Systeme könnten zukünftig beispielsweise als Anti-Satellitenwaffe genutzt werden. Einige Staaten arbeiten an Technologien, die als Weltraumwaffe eingesetzt werden können. Weltraumgestützte Laserwaffen sowie Flugkörper zur Raketenabwehr befinden sich ebenso im Forschungs- und Entwicklungsstadium wie militärische Kleinsatelliten (Petermann et al. 2003, S. 12).

Die START-Verträge und der SORT-Vertrag

Der START-I-Vertrag vom 31. Juli 1991 zwischen den USA und der damaligen Sowjetunion beschränkte die strategischen Nukleararsenale beider Seiten auf 1.600 strategische Offensivwaffenträger (Interkontinentalraketen [ICBM], seegestützte ballistische Raketen [SLBM] und schwere Bomber) sowie 6.000 »anrechenbare« nukleare Sprengköpfe. Für die einzelnen Trägersysteme wurden Zählregeln für die maximale Zahl von Sprengköpfen pro Trägersystem vereinbart. Vertraglich begrenzt wird auch die Zahl von weitreichenden luftgestützten nuklearen Cruise Missiles. Mehrere Protokolle und Zusatzvereinbarungen errichten ein umfassendes Kontrollregime. Separate politisch bindende Erklärungen beschränken zusätzlich seegestützte Marschflugkörper (SLCM) mit Reichweiten über 600 km auf eine Obergrenze von 880 pro Seite. Der START-I-Vertrag ist am 5. Dezember 2009 ausgelaufen.

Der START-II-Vertrag vom 3. Januar 1993 ermöglichte eine weitere Reduzierung der strategischen Nuklearwaffen auf 3.000 bis 3.500 Sprengköpfe pro Seite und verbot Mehrfachsprengköpfe. Ersetzt wurde das – nichtratifizierte – START-II-Abkommen durch den Moskauer SORT-Vertrag vom 24. Mai 2002. Dessen Ziel war die Reduktion der strategischen Nuklearwaffen auf ca. 1.700 bis 2.200 Sprengköpfe bis zum Jahr 2012. Danach kann jede Seite wieder aufrüsten. Spezielle Regelungen für neue Trägersysteme, wie z. B. UAVs, die nukleare Sprengköpfe tragen könnten, enthält der Moskauer Vertrag nicht. Mit dem Inkrafttreten von New START läuft SORT aus.

Der New Strategie Arms Reduction Treaty (New START) wurde am 8. April 2010 in Prag unterzeichnet, um die nach dem Auslaufen von START-I bestehende »Kontrolllücke« zu schließen, da der bestehende SORT keinen Verifikationsmechanismus umfasste. Kernpunkte des Vertrags sind die Begrenzung nuklearer Gefechtsköpfe auf jeweils 1.550 Stück und nuklearstrategischer Offensivwaffenträger auf insgesamt 800, von denen höchstens 700 einsatzbereit sein dürfen, sowie die Formulierung entsprechender Zählregeln. Der Vertrag sieht nach Inkrafttreten eine Übergangsfrist von sieben Jahren zur Erreichung dieser Ziele vor (Phillips 2010).

Der neue START-Vertrag umfasst explizit für den Einsatz nuklearer Sprengköpfe vorgesehene ballistische Raketen (ICBM, SLBM) und schwere Bomber sowie die dafür erforderlichen Abschussvorrichtungen und technischen Vorrichtungen (Artikel II.1). Dadurch gelten die Bestimmungen nicht unmittelbar für alternative Waffensysteme, wie z. B. UAVs. Zwar wird der möglichen Entwicklung neuer strategischer Offensivwaffen in Artikel V Rechnung getragen. Die Notifizierung der Bilateralen Konsultativkomission[88] und damit des jeweiligen Vertragspartners bleibt jedoch nach Artikel V Abs. 2 im Ermessen der Vertragsparteien: »When a Party believes that a new kind of strategic offensive arm is emerging, that Party shall have the right to raise the question of such a strategic offensive arm for consideration in the Bilateral Consultative Commission.«

Der INF-Vertrag

Mit dem INF-Vertrag (Intermediate-Range Nuclear Forces) vom 8. Dezember 1987 zwischen den Vereinigten Staaten und der Sowjetunion wurden zwei Trägerkategorien vollständig eliminiert: ballistische Raketen (»Ground Launched Ballistic Missiles«, GLBM)[89] und landgestützte Marschflugkörper (»Ground-launched Cruise Missiles«, GLCM[90] mit einer Reichweite zwischen 500 und 5.500 km samt dazugehöriger Startgeräte und der benötigten Infrastruktur. Auch sind die Produktion und Flugerprobung von INF-relevanten Trägersystemen verboten. Luft- und seegestützte Marschflugkörper (ALCM u. SLCM) sind hingegen erlaubt. Der Vertrag gilt seit dem 31. Mai 2001 als vollständig umgesetzt. Beide Nuklearmächte verfügen heute über keine Mittelstreckenraketen oder bodengestützte Marschflugkörper des definierten Reichweitebereichs mehr. Vor dem Hintergrund, dass Staaten wie China, Indien, Pakistan, Nordkorea und

88 Vorgesehen zur Unterstützung der Umsetzung der Vertragsinhalte im Rahmen des neuen START-Vertrags.

89 Eine ballistische Rakete definiert Artikel II.1 als »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«.

90 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«.

Iran Mittelstreckenraketen dieser Reichweitenbereiche entwickeln, brachten die Vereinigten Staaten und Russland in einer gemeinsamen Erklärung vom 29. Oktober 2007 auf der Generalversammlung der Vereinten Nationen zum Ausdruck, sich weiter an die INF-Verpflichtungen halten zu wollen, und riefen andere Staaten auf, dies auch zu tun.[91]

UAVs werden im INF-Vertrag nicht explizit erwähnt. Allenfalls ließen sie sich unter die Kategorie »bodengestützter Marschflugkörper« einordnen, wenn sie als Waffenträger (z. B. als UCAV) vorgesehen sind. Allerdings kann man argumentieren, dass ein UCAV kein Marschflugköper ist, da es nach dem Start und ausgeführter Mission wie ein Flugzeug wieder landen kann. Auch ist oftmals kein Startgerät (»launcher«) vonnöten.[92] Die im INF-Vertrag definierten Charakteristika beziehen sich relativ eindeutig auf Marschflugkörper, die einmalig eingesetzt werden, während UCAVs für mehrfachen Einsatz vorgesehen sind (Gormley/Speier 2003, S. 7 f.). Nach U.S.-amerikanischem Verständnis fallen UCAVs nicht unter die Bestimmungen des INF-Vertrages.[93]

Es wäre deshalb von der im INF-Vertrag in Artikel XI vorgesehenen »Special Verification Commission« zu erörtern, ob und wie weitere neue Trägersysteme im INF-Reichweitenbereich einzubeziehen sind.

Vertrag über Konventionelle Streitkräfte in Europa (KSE-Vertrag)

Im Wesentlichen beinhaltet der KSE-Vertrag vom 19. November 1990 für einen geografisch definierten Bereich »vom Atlantik bis zum Ural« die Festlegung von Obergrenzen für konventionelle Waffen in fünf Kategorien von Hauptwaffensystemen[94] nach dem Paritätsprinzip sowie die Etablierung entsprechender Informations- und Verifikationsmechanismen für die beiden damaligen Militärallianzen. Im November 1999 wurde der angepasste KSE-Vertrag (A-KSE) in Istanbul unterzeichnet, der das KSE-Blockkonzept durch ein territoriales Zonenkonzept ersetzen sollte. Er wurde von den NATO-Mitgliedstaaten jedoch bis heute nicht ratifiziert, da nach ihrer Auffassung Russland nicht alle Vertragsverpflichtungen erfüllt hat. Die Implementierung des Vertrags wurde am 12. Dezember 2007 von Russland suspendiert, als Gründe wurden die A-KSE-Nichtratifizierung und die

91 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

92 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«.

93 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.« (DoD 2007, S. 64; s. a. DoD 2009, S. 42)

94 Dies sind: Kampfpanzer (»Main Battle Tanks«), gepanzerte Kampffahrzeuge (»Armored Combat Vehicles«), schwere Artilleriewaffen (»Heavy Artillery«), Kampfflugzeuge (»Combat Aircraft«) und Angriffshubschrauber (»Attack Helicopters«).

U.S.-Raketenabwehrpläne in Europa angegeben. Seit Anfang 2010 sind Zeichen verstärkten Engagements für eine Revitalisierung des KSE-Prozesses zu erkennen.

Unbemannte Systeme werden im Vertragstext nicht explizit genannt. Der KSE-Vertrag legt aber Höchstgrenzen für die Waffensysteme fest. Da deren Definition zunächst nichts darüber aussagt, ob beispielsweise »Combat Aircraft« oder »Attack Helicopters« unbemannt oder bemannt sind, wären bewaffnete UAVs eigentlich eingeschlossen, neu im Vertragsgebiet stationierte UCAVs fielen unter die Vertragsregelungen (Altmann et al. 2008, S. 175). Die Definitionen von Kampfpanzern oder gepanzerten Kampffahrzeugen im Vertragstext arbeiten mit technischen Parametern (z. B. Tonnen oder Kaliber), Fahrer werden nicht erwähnt. Für zukünftige bewaffnete, kleine luft- und bodengestützte UMS ließen sich ggf. neue Kategorien einführen (Altmann 2011, S. 32).

Artikel XVI sieht eine »Gemeinsame Beratungsgruppe« vor, 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 mit Listen von Waffen und Ausrüstungen, die verboten bzw. erlaubt sind. Hier könnten relevante unbemannte Systeme aufgenommen werden.

Wiener Dokument 1999 der Verhandlungen über vertrauens- und sicherheitsbildende Maßnahmen

Das Wiener Dokument vom 16. November 1999 beinhaltet regionale Maßnahmen zur Transparenz und Vertrauensbildung im OSZE-Raum. Das Dokument ist lediglich politisch, nicht aber völkerrechtlich verbindlich. Es regelt den jährlichen Austausch von Daten zum militärischen Inventar und Militärbudget (Ziffer 1) und beinhaltet ein Kommunikationsnetzwerk und eine jährliche Bewertung von vertrauens- und sicherheitsbildenden Maßnahmen (VSBM). Spezifische Informationen zu militärischen Aktivitäten, zur Verteidigungsplanung und zu militärischen Kontakten sind den anderen Teilnehmerstaaten zur Verfügung zu stellen. Eine frühzeitige Information wird hierbei als vertrauensbildend angesehen. Im Jahr 2010 wurde deutlich, dass die Teilnehmerstaaten im Konsens eine Modernisierung des WD99 als notwendig erachten.

Ziffer 10 spezifiziert die zu meldenden Waffensysteme, Truppeninformationen und Ausrüstungsgegenstände. UMS als Waffenplattformen fallen unter die Ziffer 10.2.5 oder 10.5. Da »Daten« von »neuen Typen oder Versionen von Hauptwaffensystemen und Großgerät« bei Indienststellung gemeldet werden müssen (Ziffer 11.2) sowie »Informationen« zu Planungen zur Indienststellung ausgetauscht werden sollen (Ziffer 13), beträfen diese Pflichten auch UAVs oder andere UMS, sobald ihre Stationierung im Anwendungsgebiet geplant ist oder erfolgt.

Informationsaustausch innerhalb der 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) in Budapest das Dokument »Global Exchange of Military Information« beschlossen, das den Informationsaustausch in Bezug auf Hauptwaffensysteme und militärische Ausrüstungsgegenstände sowie Personal regelt. Unbemannte Systeme fallen hier unter Ziffer 3 (Hauptwaffensysteme und Großgerät) sowie Ziffer 6 (neu in Dienst gestellte Waffen- und Gerätesysteme).

UN-Waffenregister

Die Vereinten Nationen haben ein Berichtssystem für konventionelle Hauptwaffensysteme (»Transparency in Armaments«) gemäß einer Resolution der Generalversammlung 46/36L vom 6. Dezember 1991 etabliert. Der UN-Generalsekretär wurde beauftragt, ein universelles und nichtdiskriminierendes Register aufzubauen, das mehr Offenheit und Transparenz beim globalen Transfer von Waffen schaffen soll. Die 173 Mitgliedstaaten liefern hierzu seit 1992 jährlich Daten zum Im- und Export von sieben Waffenkategorien. 2009 waren es 71 Meldungen. Es handelt sich um die fünf Kategorien der Hauptwaffensysteme des KSE-Vertrages sowie bestimmte Kriegsschiffe und Raketen/Raketenstartsysteme. Gemeldet werden müssen das vollständige Waffensystem und zusätzliche technische Parameter (wie z. B. Kaliber, Gewicht), nicht jedoch einzelne Komponenten. Darüber hinaus sind die Mitglieder angehalten, zusätzliche Hintergrundinformationen (z. B. Beschaffungsmaßnahmen) bereitzustellen. Insgesamt haben bislang Staaten einen oder mehrere Berichte abgegeben, manche Staaten jährlich.

UAVs finden in diesen Kategorien keine explizite Erwähnung. Da aber bei der Definition von Flugzeugen und Hubschraubern (als Waffenträger) nicht explizit zwischen unbemannt und bemannt unterschieden wird, sind von der technischen Definition zumindest auch UAVs erfasst, soweit sie »Kampfflugzeug« oder »Kampfhubschrauber« sind bzw. ihnen ähneln. Gleiches gilt insofern auch für »Kampfpanzer« und »gepanzerte Kampffahrzeuge«. Eine Gruppe von Regierungsexperten hat 2006 vorgeschlagen, auch UAVs allgemein unter Kategorie IV, V oder VII einzuordnen.[95] Weitere Diskussionen über unbemannte Systeme sind bisher nicht zu verzeichnen.

Zum Abschluss werden in Tabelle 27 die für UMS relevanten Rüstungskontrollregime in einer Übersicht zusammengestellt.

95 UN-Dokument A/61/261, Continuing operation of the United Nations Register of Conventional Arms and its further development, 15.8.2006, Ziffer 96/97

TAB. 27 Übersicht der Rüstungskontrollverträge mit Relevanz für UMS

Vertrag	Bestimmungen mit Relevanz für UMS	Verbotstatbestand, Begrenzungen	Anmerkungen
Übereinkommen über das Verbot chemischer Waffen (CWÜ) (1993)	Art. I und II, 1a bis c	Entwicklung, Herstellung, Besitz, Weitergabe und Einsatz chemischer Waffen werden verboten.	Dieses Verbot umfasst auch alle Arten von bemannten und unbemannten Fahrzeugen, die über Sprüheinrichtungen und Tanks verfügen, die toxische Chemikalien verteilen könnten.
Übereinkommen über das Verbot biologischer Waffen (BWÜ) (1972)	Art. I, 1 u. 2	Entwicklung, Herstellung, Lagerung sowie das anderweitige Erwerben oder Behalten von biologischen Waffen werden verboten.	Dieses Verbot umfasst auch bemannte und unbemannte Systeme, die für den Einsatz von mikrobiologischen oder anderer biologischer Agenzien (Mikroorganismen und Zellkulturen, die Infektionen, Allergien, toxische Wirkungen hervorrufen können) »für feindliche Zwecke oder im bewaffneten Kampf bestimmt sind«. Das Verbot umfasst nicht UMS im Allgemeinen, sondern nur solche, die dazu bestimmt sind, biologische oder Toxinwaffen zum Einsatz zu bringen.
Weltraumvertrag (1967)	Art. IV, 2	Stationierung von Massenvernichtungswaffen im Weltraum wird verboten. Mond und andere Himmelskörper dürfen nur zu friedlichen Zwecken genutzt werden.	Manövrierbare Kleinsatelliten, Marschflugkörper, die den Weltraum oder die oberen Schichten der Atmosphäre durchqueren, sind erlaubt, solange sie keine Massenvernichtungswaffen tragen.

TAB. 27-FORTSETZUNG ÜBERSICHT DER RÜSTUNGSKONTROLLVERTRÄGE MIT RELEVANZ FÜR UMS

Vertrag	Bestimmungen mit Relevanz für UMS	Verbotstatbestand, Begrenzungen	Anmerkungen
New START (2010)	ggf. Art. V	Begrenzung nuklearer Sprengköpfe auf jeweils 1.550 und strategischer Offensivwaffenträger auf insgesamt 800	Neue strategische Offensivwaffen könnten verhandelt und bei Einigung reguliert werden.
INF-Vertrag (1987)	ggf. Art. XI	Ballistische Raketen und landgestützte Marschflugkörper mit einer Reichweite von 500 bis 5.500 km werden (in USA u. Russland) abgerüstet, Produktion/Flugerprobung relevanter Trägersysteme werden verboten.	UAVs werden nicht explizit erwähnt. Sie lassen sich auch nicht unter »bodengestartete ballistische Marschflugkörper« einordnen. Eine adäquate Kategorie müsste verhandelt werden.
Vertrag über Konventionelle Streitkräfte in Europa (1990)	ggf. Art. XVI	Obergrenzen für konventionelle Waffen	UMS werden nicht explizit genannt. Allerdings werden Höchstgrenzen für »combat aircraft« und »armored combat vehicles« bestimmt. Deren Definition legt nicht fest, ob das Gerät bemannt oder unbemannt sein muss und schließt somit UAVs/UGVs ein. Grundsätzlich könnten UMS bei Einigung der Parteien in die zu regulierenden Waffensysteme aufgenommen werden.

Quelle: nach Altmann et al. 2008, S. 168 ff., z.T. aktualisiert

MULTILATERALE VEREINBARUNGEN ZUR EXPORTKONTROLLE 1.2

Luftgestützte unbemannte Systeme haben sich im ersten Jahrzehnt des 21. Jahrhunderts zu einer ernsthaften Herausforderung für internationale Exportkontrollen und Nichtverbreitungsbemühungen entwickelt. Der Trend zu immer größeren Systemen, die wachsenden und sich weiter ausdifferenzierenden Möglichkeiten für nichtmilitärische Anwendungen sowie ein wachsender offener Markt für Systeme und kritische UAV-relevante Komponenten begründen – insbesondere angesichts der inhärenten Fähigkeiten von UAVs, Massenvernichtungswaffen zu tragen – einer neuen Dimension von Risiken.

Im Folgenden werden die multilateralen Vereinbarungen zur Exportkontrolle im Licht dieses »new level of proliferation threat« (Gormley/Speier 2003) vorgestellt (Altmann et al. 2008, S. 177 ff.).

Missile Technology Control Regime

Das »Missile Technology Control Regime« (MTCR) von 1987 ist eine »informelle und freiwillige« Gruppe von Staaten, die gemeinsame Richtlinien erarbeitet haben, um den Export von bestimmten Raketen und unbemannten Flugsystemen zu regeln. Mitglieder sind zurzeit 34 Staaten, darunter Deutschland, Frankreich, USA, Großbritannien, Japan, Italien, Russland, Kanada, Südkorea. Allerdings sind einige Schlüsselexporteure nicht Mitglied des MTCR, so z. B. China, Israel, Indien, Iran, Nordkorea oder Pakistan. 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 aus dieser lizenzfreien Zone hinaus und deren letztlichen Verbleib hätte der ursprüngliche Erzeugerstaat nicht in jedem Fall die Kontrolle. Im Rahmen des MTCR werden nationale Exportkontrollen koordiniert. Dies basiert zum einen auf dem Austausch von Informationen, zum anderen auf den sogenannten MTCR-Richtlinien. Diese werden typischerweise in nationales Recht umgesetzt.[96] Entscheidungen im MTCR werden im Konsens gefällt.

Der Anwendungsbereich des MTCR wurde über die Jahre schrittweise erweitert, um unbemannte Trägersysteme für biologische, chemische und nukleare Nutzlasten möglichst vollständig zu erfassen (WMD Commission 2006, S. 142). 1993 wurde so für Trägersysteme, die chemische oder biologische Agenzien aussprühen könnten, die Nutzlastschwelle (ab 500 kg) aufgehoben.

96 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 (Amtsblatt L 159/1), zuletzt geändert durch Verordnung (EG) N. 428/2009 des Rates von 5.5.2009.

Seither erfassen die MTCR-Listen in Kategorie II Systeme, die jegliche Nutzlast über eine Entfernung gleich oder weiter als 300 km transportieren können. Seit 2003 werden unbemannte Systeme auch unabhängig von ihrer Reichweite dann in der Kategorie II erfasst, wenn sie mit autonomer oder langreichweitiger Navigation/Fernsteuerung ausgerüstet sind und über eine integrierte Sprühvorrichtung zur Ausbringung von Aerosolen oder eine entsprechende modulare Nachrüstbarkeit verfügen. Die letztgenannten Systeme sind besonders relevant für terroristische Anwendungen. Eine weitere wichtige Neuerung der vergangenen Jahre ist die Erweiterung der MTCR-Liste um solche Triebwerke, welche für den Einbau in unbemannte Systeme der Kategorie II vorgesehen sind (MTCR 2007b).

Ein »MTCR-Anhang-Handbuch« (MTCR 2007a) führt sensitive MTCR-Technologien auf und enthält Definitionen, Terminologien und technische Spezifikationen der erfassten Trägersystemtechnologien. Es listet dabei sowohl komplette Systeme als auch einzelne Komponenten auf. Der »MTCR Equipment, Software and Technology Annex« vom 23.3.2007 ordnet die aktuell relevanten MTCR-Technologien für ballistische Raketen, Weltraumträgersysteme, Höhenforschungsraketen, Marschflugkörper und UAVs in zwei Kategorien (MTCR 2007b).

- Kategorie I umfasst komplette Raketensysteme und unbemannte Luftfahrzeuge[97], die eine Nutzlast größer bzw. gleich 500 kg über mindestens 300 km tragen können. Die dort gelisteten Systeme oder Komponenten sollen grundsätzlich nicht exportiert werden, über eng eingegrenzte Ausnahmen von dieser Regel wird auf nationaler Ebene entschieden.[98] Der Export von Geräten oder Einrichtungen zur Produktion von Kategorie-I-Komponenten ist ausnahmslos verboten.
- Kategorie II umfasst (andere) komplette Systeme mit einer Reichweite größer als 300 km mit jeglichen Nutzlasten. Aufgelistet werden auch Antriebskomponenten, Starteinrichtungen und andere Raketen- bzw. UAV-relevante Komponenten und Technologien, 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 18 Kategorie-II-Komponenten, wie z. B. Triebwerke, Verbundwerkstoffe oder Flugkontrollsysteme, nutzbar (Tab. 28). Entscheidungen werden fallspezifisch getroffen (»case by case basis«).

97 Die allgemeine UAV-Definition des MTCR ist weit und umfasst auch Cruise Missiles sowie Ziel-, Aufklärungs- und weitere unbemannte Flugkörper.

98 Grundsätzlich gilt eine starke Ablehnungsvermutung (»strong presumption of denial«). Systeme und Komponenten 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«.

TAB. 28 **UMS-RELEVANTE AUSGEWÄHLTE SCHLÜSSELKOMPONENTEN UND ZUORDNUNGSKRITERIEN DES MTCR**

Kategorie I
komplette UAV-Systeme (inkl. CM-Systeme sowie Ziele- und Aufklärungsdrohnen), Reichweite ≥ 300 km und Nutzlast ≥ 500 kg
komplette Subsysteme nutzbar in Systemen ≥ 300 km ≥ 500 kg
Steuersysteme mit CEP < 3,33 % der Reichweite
Schubvektorkontrollsubsysteme
Waffen- und Gefechtskopfsicherung, Bewaffnungs-, Zünd- und Abfeuermechanismen
Kategorie II
(andere als in Kategorie I spezifizierte) komplette Systeme mit Reichweite ≥ 300 km oder autonomer Flug-/Navigationskontrolle *und* System zur Aerosolverteilung (mit Flüssigkeitsvolumen > 20 l)
Turbojet-, Turbofanantriebe (Schub > 400 N und Treibstoffverbrauch < 0,5 kg/[N*h]), Ramjet-, Scramjet-, Pulsejet- und Turboprop-Antriebe (Leistung > 10 kW)
Verbundstoffe, Laminate und damit verbundene Produktionsmittel
Gyrostabilisatoren, Autopiloten; Gyro-Astro-Kompasse; Linearbeschleunigungsmesser; Kreisel (mit Driftratenstabilität < 0,5°/h); Trägheitssensorik; komplette Navigationssysteme (genauer als 200 m CEP); magnetische Dreiachsenflugrichtungssensoren
Hydraulische, mechanische, elektro-optische oder elektromechanische Flugkontrollsysteme; Höhenkontrolle; Flugkontrollservoregler
Radar- und Laserradarsysteme; passive elektronische Peilsensoren; Empfangsgeräte für globale Satellitennavigationsgeräte (funktionsfähig bei Geschwindigkeiten > 600 m/s, Empfang verschlüsselter Signale, Anti-Jam-Funktionen); umfasst auch »Terrain Contour Mapping«, »Scene Mapping and Correlation«, Dopplernavigationsradar, 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; Abstandsradartechnik (Winkelauflösung < 3 mrad, Reichweite > 30 km, Längenauflösung < 10 m rms, Geschwindigkeitsauflösung < 3 m/s); thermische Batterien
Analoge, digitale Computer; digitale Differenzialanalysatoren (funktionsfähig zw. -45 °C und +55 °C, umwelt- und strahlengehärtet); Analog-Digital-Wandler
Vibrationstestausrüstung; Windtunnel (> 0,9 Mach); Teststände (ausgelegt auf Schub > 68 kN); Umweltkammern; Elektronenbeschleuniger (Bremsstrahlung > 2 MeV)

Hybridcomputer und Software für die Modellierung, Simulation und *Integration* von Systemen der Kategorie I
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
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 zugehörig sind. 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.

Quelle: Altmann et al. 2008, S. 179 f.; nach MTCR 2007a

Als große Herausforderung stellen sich die wachsende Nachfrage nach und Verbreitung von (Kategorie-I-)UAVs für Überwachungszwecke oder Kampfeinsätze dar. Sie können nukleare Sprengköpfe oder große Mengen chemischer oder biologischer Agenzien tragen (Gormley/Speier 2003, S. 11).

The Hague Code of Conduct against Ballistic Missile Proliferation

Der Haager Verhaltenskodex gegen die Proliferation ballistischer Raketen (Hague Code of Conduct, HCOC) wurde 2002 als ein Instrument zur Nichtweiterverbreitung von Raketentechnologien verabschiedet. Es ist ein lediglich politisch bindendes Abkommen ohne völkerrechtliche Verbindlichkeit. Ein Sekretariat existiert nicht. Der HCOC tritt für den »verantwortungsvollen Umgang« mit Raketen ein und enthält Prinzipien, Verpflichtungen und Vorschläge für vertrauensbildende Maßnahmen wie z. B.

- Ankündigung geplanter Raketenstarts,
- Erstellung von Jahresberichten durch die Mitglieder bezüglich militärischer und ziviler Transparenzmaßnahmen über Raketenbestände,
- Einladung internationaler Beobachter bei Starts landgestützter Raketen.

Auch enthält er eine Selbstverpflichtung der Mitgliedstaaten, die Weitergabe von militärischer Trägertechnologie durch multi- und bilaterale sowie nationale Maßnahmen einzudämmen, nicht aber eine eindeutige Verbotsnorm oder Kooperationsanreize. Marschflugkörper und UAVs wurden bisher nicht aufgenommen. 131 Staaten (Stand Ende 2010) haben das Abkommen unterzeichnet, nicht aber Staaten wie Ägypten, China, Brasilien, Israel, Iran, Nordkorea, Indien, Pakistan, Syrien. Überhaupt gibt es wenige Aktivitäten dahingehend, das Regime auszubauen oder zu beleben. Viele Staaten, darunter die USA, geben keinen jährlichen Bericht ab (WMD Commission 2006, S. 142), Russland hat seine Notifizierungen 2008 eingestellt. Angesichts der deutlich geänderten Gefährdungslage durch den weltweiten Aufwuchs von Cruise Missiles hat die sogenannte Blix-Kommis-

sion in ihrem Bericht den Vorschlag gemacht, in den HCOC auch Cruise Missiles und UAVs zu integrieren sowie einen multilateralen Datenaustausch zu Raketenstarts zu etablieren (WMD Commission 2006, S. 143; s. a. Gormley 2009).

Wassenaar-Abkommen

Das Wassenaar-Abkommen vom 11./12. Juli 1996 ist Nachfolger des COCOM-Exportkontrollregimes, das während des Kalten Krieges die Lieferung sensitiver Technologie in den Ostblock verhindern sollte. Ziel ist – neben der Förderung von Transparenz und dem Informationsaustausch – eine erhöhte Verantwortung bezüglich des Transfers konventioneller Waffen sowie Gütern und Technologien mit doppeltem Verwendungszweck, die zu ihrer Herstellung dienen können. Die 40 Mitgliedstaaten erstellen Listen sensitiver Güter und entscheiden über die Lieferung an Drittstaaten. Die nur politisch bindende Vereinbarung dient der Ergänzung und Bekräftigung bestehender Rüstungskontrollregime und der Rüstungsexportkontrolle hochsensitiver Technologien. In zwischenstaatlicher Kooperation soll die Beschaffung von Rüstungsgütern und sensitiver Dual-Use-Technologie zu militärischen Endzwecken (durch Staaten wie auch durch nichtstaatliche Organisationen) unterbunden werden. Die beteiligten Staaten tauschen hierfür auf freiwilliger Basis Informationen zu Exporten von Rüstungsgütern und Dual-Use-Technologien (alle sechs Monate), vor allem aber auch zu verweigerten Exporten (innerhalb 60 Tagen), aus. Auf der Grundlage von Richtlinien und vereinbarten Kontrolllisten gestaltet jede Vertragspartei eigenständig und eigenverantwortlich ihre nationale Exportpolitik[99]. Besonderes Augenmerk liegt auf bestimmten Arten von Dual-Use-Gütern und -Technologien. Diese sollen von den beteiligten Staaten im Rahmen von Exportgenehmigungen kontrolliert werden. Die Kontrollliste für Dual-Use-Güter und -Technologien unterteilt sich in neun Kategorien sowie eine »sensitive« und »very sensitive list«. Relevant für UMS sind insbesondere folgende Kategorien (Tab. 29):

99 In Deutschland wird der Export von Rüstungsgütern und Dual-Use-Gütern vor allem durch das Gesetz über die Kontrolle von Kriegswaffen (KWKG) und das Außenwirtschaftsgesetz (AWG) in Verbindung mit der Außenwirtschaftsverordnung (AWV) geregelt. Entscheidungen erfolgen auch gemäß den »Politischen Grundsätzen der Bundesregierung für den Export von Kriegswaffen und sonstigen Rüstungsgütern« und dem »Gemeinsamen Standpunkt« der EU. Alle Anträge auf Ausfuhrgenehmigungen werden im Einzelfall entschieden und genehmigt. Rüstungsgüter sind als Anlage zur AWV in Teil I Abschnitt A der Ausfuhrliste, die eng an die Liste des Wassenaar-Abkommens angelehnt ist, aufgeführt. Darüber hinaus können in Teil I Abschnitt C der Ausfuhrliste nationale Ergänzungen zu Abschnitt A niedergelegt sein. Einige in der Ausfuhrliste aufgeführte Rüstungsgüter sind zugleich Kriegswaffen im Sinne des Kriegswaffenkontrollgesetzes (KWKG). Für deren Ausfuhr ist zunächst eine Genehmigung nach dem KWKG (»Beförderungsgenehmigung zum Zweck der Ausfuhr«), dann eine Ausfuhrgenehmigung nach AWG/AWV erforderlich. Rüstungsgüter, die keine Kriegswaffen sind (sogenannte sonstige Rüstungsgüter), erfordern hingegen lediglich eine Genehmigung nach AWG/AWV.

TAB. 29 KATEGORIEN DES WASSENAAR-ABKOMMENS MIT RELEVANZ FÜR UMS (MIT EINER 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
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 (gravimeters) 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 (GNSS) receiving equipment (7.A.5)
Underwater sonar navigation systems using doppler velocity or correlation velocity logs integrated with a heading source – positioning accuracy of equal to or less (better) than 3% of distance travelled 'Circular Error Probable'('CEP') (7.A.8)
Category 8 – Marine
Submersible vehicles and surface vessels (8.A.1)
Unmanned tethered submersible vehicles designed to operate at depths > 1.000 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: Altmann et al. 2008, S. 182 f. nach Wassenaar 2007a

Das Wassenaar-Abkommen bietet bereits heute Ansatzpunkte für eine Begrenzung des Exports von UMS-relevanter Technologie.

2. VÖLKERRECHTLICHE ASPEKTE DES EINSATZES VON UNBEMANNTEN SYSTEMEN IM BEWAFFNETEN KONFLIKT

Ob und unter welchen Voraussetzungen ein Einsatz von unbemannten Systemen »im bewaffneten Konflikt« mit den Prinzipien des Völkerrechts vereinbar ist, soll im Folgenden vor allem anhand der wichtigsten völkerrechtlichen Verträge, die von der Bundesrepublik Deutschland ratifiziert worden sind, geprüft werden (zum Folgenden v.a. Altmann et al. 2008, S. 183 ff.).

Im Zentrum stehen die für den internationalen Konflikt maßgeblichen Bestimmungen der vier Genfer Abkommen von 1949[100] und der zwei Zusatzprotokolle von 1977.[101] Einbezogen werden ferner weitere vertragliche Bestimmungen, ins-

100 Es sind dies die vier Genfer Rotkreuz-Abkommen vom 12. August 1949: 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.

101 Zusatzprotokoll vom 8. Juni 1977 zu den Genfer Abkommen vom 12. August 1949 über den Schutz der Opfer internationaler bewaffneter Konflikte – Protokoll I –; Zusatzprotokoll zu den Genfer Abkommen vom 12. August 1949 über den Schutz der Opfer nicht internationaler bewaffneter Konflikte (Protokoll II) vom 8. Juni 1977

besondere solche, die bestimmte Arten von Waffen generell oder in bestimmten Situationen verbieten.[102]

PRÜFUNGSPFLICHT (ARTIKEL 36 ZP I) 2.1

Artikel 36 ZP I verpflichtet die Vertragsparteien, »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«. Man muss allerdings zurzeit davon ausgehen, dass nur eine Handvoll der 167 Vertragsstaaten eine völkerrechtliche Prüfung durchführt (Lawand 2006b, S. 930).

Der Einsatz unbemannter Systeme gehört auch dann, wenn er lediglich der Aufklärung dient, zu den »Mitteln und Methoden der Kriegführung«[103].

Nach Weber (2004, S. 695 ff.) ist zur Umsetzung von Artikel 36 zusammenfassend Folgendes zu sagen:

- Artikel 36 Abs. 1 ZP I trifft keine Festlegungen darüber, in welcher Form der Prüfpflicht nachgekommen 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 mit der Überprüfung schon weit vor Beschaffung und Einsatz des Systems zu beginnen ist.
- Alle Prüfungsschritte und -ergebnisse sind zu dokumentieren. Die Überprüfungsergebnisse können nach Artikel 84 I ZP I an andere Vertragsstaaten weitergegeben werden.

In Umsetzung von Artikel 36 ZP I wäre für unbemannte Systeme ein entsprechender sorgfältiger multidisziplinärer Prüfprozess in die Wege zu leiten (Gulam/Lee 2006, S. 128). In der Bundesrepublik Deutschland liegt die Zuständigkeit beim Bundesministerium der Verteidigung. Im Einzelnen wäre abzuwägen, ob ihr Einsatz unter bestimmten Voraussetzungen gegen Bestimmungen des ZP I, anderer einschlägiger völkerrechtlicher Verträge oder des Völkergewohnheitsrechts verstoßen könnte.[104]

102 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, das Chemiewaffenübereinkommens vom 13. Januar 1993 sowie das VN-Waffenübereinkommen mit seinen für die Bundesrepublik Deutschland in Kraft getretenen Protokollen.

103 Einen Überblick über »Mittel und Methoden der Kriegführung« und ihre Thematisierung und Regulierung durch das Völkerrecht seit den 1970er Jahren gibt Hays Parks (2006).

104 Zur Umsetzung hat das Internationale Kommittee des Roten Kreuzes (IKRK) Handreichungen entwickelt (Lawand 2006a; s. a. Gulam/Lee 2006, S. 129).

EINSATZ VON UNBEMANNTEN SYSTEMEN FÜR AUFKLÄRUNGSZWECKE 2.2

Außerhalb bewaffneter Konflikte sind Aufklärungsmaßnahmen, die das Hoheitsgebiet eines anderen Staates, dessen Luftraum oder dessen Territorialgewässer berühren, wegen Verletzung der territorialen Integrität dieses Staates völkerrechtswidrig. Die Satellitenfernerkundung ist dagegen nach allgemeiner Ansicht nicht völkerrechtswidrig, weil sie keine Beeinträchtigung des Luftraums darstellt, bewegt sich der jeweilige Satellit doch jenseits der allgemein anerkannten Grenzen des Luftraums (Altmann et al. 2008, S. 186).

Im bewaffneten Konflikt steht der Schutz der territorialen Integrität Aufklärungsmaßnahmen auf dem Territorium, innerhalb des Luftraums oder in den Territorialgewässern der gegnerischen Konfliktpartei nicht entgegen. Vielmehr gelten in diesem Fall die Regeln des Humanitären Völkerrechts. Aufklärungsmaßnahmen sind danach nicht nur zulässig, sondern unter bestimmten Voraussetzungen sogar geboten. Dies gilt etwa für Fälle in denen es darum geht, Gefahren präventiv zu begegnen (Sulmasy/Yoo 2007, S. 10 ff.) oder bei der Zielauswahl und -erfassung ein möglichst genaues Lagebild zu gewinnen, beispielsweise um bei einem Kampfeinsatz nach Möglichkeit zivile Opfer zu vermeiden.

Eine Aufklärungsmaßnahme kann allerdings im Einzelfall unzulässig sein, wenn und soweit sie Regeln des Rechts im bewaffneten Konflikt verletzt. Beispielsweise kann sich eine mögliche Unzulässigkeit aus einer erhöhten Unfall- und Absturzgefahr unbemannter Fahrzeuge ergeben, soweit diese zu einer Gefährdung der Zivilbevölkerung oder besonders geschützter Anlagen und Installationen führt. Dies ergibt sich aus folgenden Bestimmungen: Artikel 51 ZP I schützt die Zivilbevölkerung allgemein »vor den von Kriegshandlungen ausgehenden Gefahren«. Die Artikel 52 bis 56 ZP I stellen zivile Objekte unter besonderen Schutz. Artikel 57 Absatz 1 ZP I schließlich bestimmt: »Bei Kriegshandlungen ist stets darauf zu achten, dass die Zivilbevölkerung, Zivilpersonen und zivile Objekte verschont bleiben.« Ausdrücklich heißt es in Absatz 4 desselben Artikels ferner: »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.«

Die genannten Bestimmungen verpflichten die Vertragsparteien insbesondere dazu, beim Einsatz von unbemannten Systemen alle »angemessenen« Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um eine Gefährdung der Zivilbevölkerung oder ziviler Objekte (beispielsweise durch Absturz oder durch andere unbeabsichtigte Nebenwirkungen von unbemannten Luftfahrzeugen oder entsprechenden Geräten

zu Wasser und auf dem Land)[105] zu vermeiden. Auch der Schutz der Umwelt verlangt Vorsichtsmaßnahmen der Konfliktparteien.

BEWAFFNETE UNBEMANNTE SYSTEME 2.3

Auch für den Einsatz unbemannter Systeme als Waffenträger[106] finden die einschlägigen Regeln des Humanitären Völkerrechts Anwendung. Nach Artikel 35, Absatz 1 ZP I »haben die am Konflikt beteiligten Parteien kein unbeschränktes Recht in der Wahl der Methoden und Mittel der Kriegführung«. Vielmehr haben sie bestimmte Prinzipien und Verbote zu beachten, die ggf. das Prinzip der »militärischen Notwendigkeit« relativieren.

WAFFENVERBOTE 2.3.1

Zunächst folgt aus den völkerrechtlich vereinbarten Waffenverboten insbesondere, dass unbemannte Systeme nicht mit biologischen oder chemischen Waffen ausgestattet werden dürfen.[107] Auch sind weitere Einsatzbeschränkungen wie die in Bezug auf die im Protokoll IV zum VN-Waffenübereinkommen definierten Laserblendwaffen[108] und die im Protokoll III zum VN-Waffenübereinkommen definierten Brandwaffen[109] zu beachten.

Ferner ist Artikel 35, Absatz 2 ZP I zu nennen, der untersagt, »Waffen, Geschosse und Material sowie Methoden der Kriegführung zu verwenden, die geeignet sind, überflüssige Verletzungen oder unnötige Leiden zu verursachen«. Es ist nach Artikel 35, Absatz 3 ZP I zudem verboten, »Methoden oder Mittel der Kriegführung zu verwenden, die dazu bestimmt sind oder von denen erwartet

105 Für den Seekrieg sind die Bestimmungen des San Remo Manuals einschlägig.

106 Im »Manual on International Law Applicable to Air and Missile Warfare« des »Program on Humanitarian Policy and Conflict Research« an der Harvard University (HPCR) – im Folgenden zitiert als »Manual« – sind unbemannte bewaffnete Flugsysteme (»Unmanned Combat Aerial Vehicles«) definiert als »armed UAVs», die zu Angriffen auf Ziele verwendet werden. Die an Bord befindlichen Waffen können fernbedient oder durch Systeme an Bord gesteuert werden (Manual 2009, S. 6).

107 Dies ergibt sich nicht nur aus den jeweiligen Verbotsbestimmungen des B-Waffen- und des C-Waffenübereinkommens, sondern auch aus dem Genfer Giftgasprotokoll 1925 sowie einschlägigen völkergewohnheitsrechtlichen Verboten. Hervorzuheben ist insbesondere, dass das C-Waffenübereinkommen das Verbot dahingehend präzisiert, dass der Einsatz von chemischen Waffen »never under any circumstances« erfolgen darf (Altmann et al. 2008, S. 188).

108 Das VN-Waffenübereinkommen (Übereinkommen vom 10.10.1980 über das Verbot oder die Beschränkung des Einsatzes bestimmter konventioneller Waffen, die übermäßige Leiden verursachen oder unterschiedslos wirken können) ist ein Rahmenübereinkommen. Waffenverbote ergeben sich aus den Protokollen. Protokoll IV betrifft Laserblendwaffen.

109 Protokoll III definiert Brandwaffen und beschränkt deren Einsatz.

werden kann, dass sie ausgedehnte, lang anhaltende und schwere Schäden der natürlichen Umwelt verursachen«.[110]

UNTERSCHEIDUNGSGEBOT UND VERHÄLTNISMÄSSIGKEITSPRINZIP 2.3.2

Generell gilt im bewaffneten Konflikt, dass die Beteiligten, die Zivilbevölkerung[111] und zivile Objekte zu schützen und zu schonen haben (Artikel 48 ZP I). Kriegshandlungen dürfen sich nur gegen militärische Ziele richten. Dabei kommt Artikel 51 ZP I besondere Bedeutung zu. Absatz 4 dieses Artikels verbietet »unterschiedslose Angriffe«. Diese werden näher definiert als

»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.«

Waffensysteme und ihr Einsatz, bei denen dem Unterscheidungsgebot nicht Rechnung getragen werden kann, sind vom Völkerrecht nicht gedeckt.

Die Streitkräfte sind im bewaffneten Konflikt zwar zum Schutz der Zivilbevölkerung verpflichtet, sie müssen sich aber keinen Gefahren aussetzen, die über die hinausgehen, die mit den in Artikel 51 ff. ZP I konkretisierten Verhaltensanforderungen einhergehen können, nur um die Zivilbevölkerung in möglichst hohem Maß zu schützen. Insbesondere gibt es keine generelle Pflicht, deshalb Angriffe in Reichweite der gegnerischen Luftabwehr zu fliegen (z. B. Schmitt 2007). Da in der Praxis des bewaffneten Konflikts bei Angriffen nicht auszuschließen ist, dass die Bevölkerung in Mitleidenschaft gezogen wird, ist das Verhältnismäßigkeitsprinzip zu beachten. Als eine Art Kompromiss zwischen dem Gebot des Schutzes der Zivilbevölkerung und den militärischen Notwendigkeiten (Gulam/Lee 2006, S. 127) wird ein Angriff dann als verboten gelten, wenn die Folgen (Verluste an Menschenleben in der Zivilbevölkerung, Verwundungen, Beschädigungen ziviler Objekte) »in keinem Verhältnis zum erwarteten konkreten und unmittelbaren militärischen Vorteil stehen« (Artikel 51, Abs. 5 lit b ZP I). Der militärische Verantwortliche steht dementsprechend vor der Entscheidung, einen solchen Angriff entweder nicht durchzuführen oder abzubrechen (Gasser 2008, S. 151).

110 Zu solchen Aspekten, die bei der Zielauswahl zu berücksichtigen sind, z. B. Roscini 2005, S. 28 ff.

111 Nach Artikel 50 ZP I bleibt die Zivilbevölkerung auch dann Zivilbevölkerung, wenn sich unter ihr einzelne Personen befinden, die nicht »Zivilpersonen» sind.

Das Gebot, die Bevölkerung zu schützen, schließt ein, davon Abstand zu nehmen, bewusst und gezielt Zivilpersonen in der Nähe militärischer Anlagen als »Schild« gegen Angriffe zu benutzen (Artikel 51, Abs. 7). Werden dennoch Zivilpersonen durch eine Konfliktpartei so gelenkt, um Kriegshandlungen von einem bestimmten Gebiet fernzuhalten, enthebt diese Verletzung des Verbots die andere Konfliktpartei nicht, ihren Verpflichtungen zum Schutz der Bevölkerung nachzukommen (Artikel 51, Abs. 8).

Aus dem Gebot des Schutzes der Bevölkerung und dem Unterscheidungsgebot resultiert insbesondere die Forderung nach möglichst hoher Zielgenauigkeit von Angriffen (Altmann et al. 2008, S. 191). Es müssen deshalb sowohl technisch als auch planerisch dazu alle erforderlichen Voraussetzungen geschaffen werden. Dies betrifft z. B. leistungsstarke Sensoren, robuste Kommunikationsverbindungen und ein Interface mit einem optimalen Design, um den Operateur mit den Informationen vom Einsatzort zu versorgen, die für eine verantwortliche Entscheidung relevant sind (Sparrow 2009b, S. 16).

Aber auch bei einer das Unterscheidungsgebot und das Verhältnismäßigkeitsgebot berücksichtigenden Planung und Durchführung eines Kampfeinsatzes könnten sich Probleme daraus ergeben, dass sich die zwischen dem Beginn des Einsatzes und dem Eintreffen Rahmenbedingungen am Zielort verändern können (zum Folgenden Altmann et al. 2008, S. 189 ff.). So wäre zu fragen, inwieweit darauf reagiert werden könnte, dass sich im Zielgebiet des unbemannten Systems eine neue Konstellation hinsichtlich des Angriffsziels, der Zivilbevölkerung oder ziviler Objekte ergeben hat und dadurch die Wirkungen des mit ihm durchgeführten Angriffs »nicht entsprechend den Vorschriften dieses Protokolls begrenzt werden können«. Ein wesentliches Erfordernis hierzu ist die Sicherstellung eines ausreichenden Informationsflusses sowie die Eröffnung von Optionen für eine Intervention des Steuerers oder eine automatisierte Korrektur zwischen dem Start des unbemannten Systems und der Entfaltung seiner Waffenwirkung(en) am Zielort.

Altmann et al. (2008, S. 191) halten im vorliegenden Zusammenhang folgende Anforderungen fest: Soweit wie möglich sollte eine Überwachung des Flug- und Fahrverlaufs unbemannter Systeme durch einen verantwortlichen Bediener erfolgen.[112] Sollte es nicht möglich sein, dem Bediener praxistaugliche Optionen zu bieten, in den Einsatzverlauf zu intervenieren, sollten Vorkehrungen dafür getroffen werden, dass ein unbemanntes System auf eine wesentliche Veränderung im Ziel- oder Einsatzgebiet – mit der Folge, dass beispielsweise unangemessen hohe Verluste unter der Zivilbevölkerung entstehen – auch dadurch reagieren kann, dass es auf einem vorprogrammierten Flugweg zur Basis zurückkehrt

112 Die Verantwortlichkeit des militärischen Führers »erlischt nicht mit dem Ende der Planungs- und Entscheidungsphase«. Gemäß Artikel 57.2b ist er verpflichtet, einen Angriff »endgültig oder vorläufig» einzustellen, wenn sich herausstellt, dass das Angriffsobjekt beispielsweise kein militärisches Ziel ist (Gasser 2008, S. 158).

(Gulam/Lee 2006, S. 136). Eine Option ist auch ein Selbstzerstörungsmechanismus (Altmann et al. 2008, S. 191; s. a. Bernhard 2008). Völkerrechtlich ist dies mittlerweile ein anerkanntes Instrument,[113] um verbotene Waffenwirkungen auszuschließen.

In der Literatur werden mittlerweile mehrere Gründe geltend gemacht, warum UMS einen erheblichen Beitrag zur Befolgung des Unterscheidungsgebots leisten können. So seien zunächst moderne Sensoren der menschlichen Sinnen in vielen Fällen deutlich überlegen. Die Distanz des Steurers ermögliche diesem zudem, unter weniger Stress zu entscheiden als im Kampfgeschehen vor Ort. Deshalb könne die Gesamteinschätzung der durch viele Parameter charakterisierten Lage am Einsatzort durch einen Steuerer in einer weitentfernten Bodenkontrollstation deutlich besser sein, als sie einem Piloten möglich ist (z. B. Dawkins 2005, S. 28 f.). Anderson (2010b, S. 12) bewertet – im Kontext einer Erörterung des »targeted killing» – unbemannte fliegende Systeme konsequent als »a step forward towards much more discriminating uses of violence in a war of self-defence». Manche dieser Argumente werden bestritten, beispielsweise das des geringeren Stresses der Steuerer im Vergleich mit den Piloten eines Kampfflugzeugs (z. B. Quintana o. J., S. 20; Sparrow 2009b). Erfahrungen mit Predator-Piloten, die von ihrem Platz in einem Kontrollraum in Nevada aus Kampfeinsätze abwickeln, zeigen, dass der körperliche, geistige und psychische Stress, dem sie ausgesetzt sind, dem von Kampfpiloten vergleichbar ist (Almond 2009, S. 82). Ferner wird auf die möglichen psychischen Traumata des Bedieners, die fehlende sinnliche Wahrnehmung der Umstände vor Ort sowie die potenzielle Entmoralisierung von Entscheidungen zum Waffeneinsatz verwiesen (Sparrow 2009b). Schließlich wird argumentiert, dass der vom Zielort entfernte Bediener deutlich weniger Informationen zur Verfügung haben kann als am Zielort eingesetztes Personal. Selbst eine Übermittlung von Bildern in Echtzeit an die Kontrollstation vermöchte dieses Informationsdefizit u. U. nur eingeschränkt zu kompensieren, zumal sich Zielpersonen oder -objekte auf diese Weise eben doch nicht immer eindeutig identifizieren lassen.

Dennoch ist nicht von der Hand zu weisen, dass fortgeschrittene unbemannte Systeme die Bedingungen vor Ort mittlerweile sehr präzise aufklären können. UAVs können stundenlang über einem Ziel kreisen und durch die kontinuierliche Überwachung ein relativ verlässliches Bild der Lage für die Bediener in der Kontrollstation bereitstellen. So tragen große unbemannte Systeme im HALE- und MALE-Segment eine hochdifferenzierte Aufklärungssensorik. Dazu gehören EO-/IR-Sensoren sowie Radarsensoren wie SAR und GMTI. Damit können – in bestimmten Grenzen – Bilder in guter Qualität auch von beweglichen und weit-

113 Etwa das Protokoll über das Verbot oder die Beschränkung des Einsatzes von Minen, Sprengfallen und anderen Vorrichtungen in der am 3.5.1996 geänderten Fassung (Geändertes Protokoll II).

entfernten Zielen selbst aus großer Höhe gewonnen und direkt an die Bodenkontrollstation übermittelt werden. Auch können die Daten unmittelbar in Form von bewegten Videobildern zu Bodentruppen in der Nähe des Ziels zur taktischen Anwendung gelangen. Ferner kann mit GMTI durch die Überwachung beweglicher Ziele am Boden – auch bei ungünstigen Wetterbedingungen – eine echtzeitnahe Unterstützung geleistet werden. SAR-Bilder als Rohdaten benötigen in der Regel eine fachliche Auswertung. Mit Laser schließlich lassen sich Ziele präzise (z. B. für lasergesteuerte Munition) markieren. Insgesamt sind technisch gute Voraussetzungen für eine Entscheidung zum Abbruch des Einsatzes oder zum Angriff gegeben.

Zusammenfassend argumentiert das Manual bezüglich der Anforderungen des Völkerrechts folgendermaßen: UAVs könnten mit ihren Sensoren so aufklären, dass erkennbar sei, ob ein Ziel rechtmäßig sowie der mögliche Kollateralschaden verhältnismäßig seien. Deshalb sollten UAVs, wenn möglich, auch dazu eingesetzt werden. Die Bediener eines UCAVs seien verpflichtet, Sensoren an Bord (und/oder andere Quellen) so intensiv wie möglich zu nutzen, um das Ziel zu verifizieren und einen Kollateralschaden einzuschätzen.

Es wird betont, dass insbesondere alles, was unter den gegebenen Bedingungen möglich (»feasible«) ist, getan werden muss, um

- auf der Basis verfügbarer Informationen (»reasonably available«) zu verifizieren, dass es sich um ein legitimes Ziel handelt, das nicht einem spezifischen Schutz unterliegt;
- die Mittel und die Methoden der Kriegsführung so zu wählen, dass Kollateralschäden vermieden oder zumindest begrenzt werden;
- zu klären, ob der erwartbare Kollateralschaden – in Bezug auf den antizipierten konkreten und direkten militärischen Vorteil unverhältnismäßig ist (Manual 2009, S. 126 f.).

Unter Berücksichtigung dieser Umstände mindere es nicht die Verlässlichkeit der Aufklärungsresultate und darauf basierender Entscheidungen, wenn ein Fluggerät unbemannt sei: »Indeed, such assessments by remote operators may be more reliable than those of aircrews on the scene facing enemy defences and other distractions.« (Manual 2009, S. 135)

Es soll abschließend betont werden, dass mit den vorangegangenen Ausführungen keinem technologischen Determinismus das Wort geredet werden soll, wonach durch zunehmende Optimierung von Technologien und Systemen eine völkerrechtskonforme Umsetzung des Unterscheidungsgebots gewissermaßen gewährleistet sei.

AUTONOME BEWAFFNETE SYSTEME 2.3.3

Vor diesem Hintergrund stellen Altmannn et al. (2008, S. 192) die Frage nach der rechtlichen Einordnung von *autonomen* Systemen, welche vollkommen selbstständig Kriegshandlungen durchführen, unter dem Aspekt der Verantwortung insbesondere für die Folgen. Falls der Einsatz eines völlig autonomen UCAVs 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 verantwortlich sein (z. B. Sparrow 2007, S. 69 ff.). Sieht man von der Möglichkeit ab, den Programmierer zur Verantwortung zu ziehen (Sparrow 2007, S. 70), könnte erwogen werden, den zuständigen Offizier im Einsatz für die durch Waffenwirkung eines unbemannten Systems entstandenen Schäden bei der Bekämpfung eines nichtlegitimen Zieles verantwortlich zu machen. Da aber völlig autonome Systeme – anders als eine »normale« Waffe, welche ihr Ziel verfehlt und unbeabsichtigte Schäden verursacht –, ihre Ziele selbstständig suchen und ändern, also einen neuen Geschehensablauf herbeiführen können, welcher vom zuständigen Offizier nicht geplant war, wäre es verfehlt, diesen zur Verantwortung zu ziehen (Sparrow 2007, S. 71). Allerdings könnte durch die Vorhersehbarkeit eines völkerrechtswidrigen Verlaufs des Waffeneinsatzes eine Verantwortlichkeit des Offiziers begründet sein, da er dann von einem Einsatz autonomer Systeme hätte absehen müssen (Altmann et al. 2008, S. 192; s. a. Singer 2009, S. 17).

Der Ansatz, die Verantwortung beim System selbst zu lokalisieren, vermag Altmann et al. (2008, S. 193) zufolge nicht zu überzeugen. Unbemannte Systeme, auch mit fortgeschrittener maschineller Intelligenz, bleiben technische Systeme, denen pflichtgemäßes und verantwortliches Handeln unter bewusster Abwägung von Alternativen nicht zugeschrieben werden können. Einer Maschine lassen sich zwar Folgen kausal zuordnen, aber sie kann nicht moralisch verantwortbar gemacht (und im Übrigen auch nicht bestraft) werden (Sparrow 2007, S. 71). Damit sei – so Altmann et al. (2008, S. 193) – ein Einsatz vollständig autonomer Systeme, ohne den »man in the loop«, »nach den geltenden Regeln des *ius in bello* nicht zu rechtfertigen« (Altmann et al. 2008, S. 193).

Eine solche Position lässt sich insbesondere durch die zugrundeliegende Annahme charakterisieren, dass es – auch für die Anwendbarkeit des Kriegsrechts – in einer militärischen Handlungskette, eine *Person* geben muss, die für die Abläufe die Verantwortung trägt und bei Fehlverhalten bestraft werden kann (Asaro 2007; Sparrow 2009a, S. 12 ff.).

Ihr kommt die Aufgabe zu, die für den Einsatz relevanten Daten zu interpretieren sowie nach den Kriterien des Völkerrechts zu bewerten. Handelt es sich um feindliche Kombattanten oder nicht, und ist hinreichend gewährleistet, dass Nichtkombattanten möglichst nicht zu Schaden kommen? Ist der zu erwartende

Kollateralschaden im Verhältnis zum antizipierten militärischen Vorteil verhältnismäßig? Sharkey (2009, S. 3 f.) weist darauf hin, dass es nicht nur um »situational awareness« gehe, sondern dass auch eine »theory of mind« erforderlich sei, d. h. die Fähigkeit, die Intentionen eines anderen in bestimmten Kontexten einzuschätzen, das wahrscheinliche Verhalten vorauszusagen und eine dem Prinzip der Verhältnismäßigkeit genügende Maßnahme bzw. alle erforderlichen vorsorgenden Maßnahmen zu ergreifen. Numerische Vergleiche und ein irgendwie gearteter Algorithmus helfen hier nicht weiter, da es um eine qualitative und in die Zukunft gerichtete Abschätzung und Gewichtung der antizipierten Verluste von Zivilisten und den antizipierten militärischen Vorteil, der durch den Angriff erreicht werden könnte, geht (Zwanenburg et al. 2005, S. 7).

Angesichts offenkundiger Trends zur Depersonalisierung des Schlachtfelds der Zukunft stellt sich die Frage nach der Gewährleistung moralisch legitimer Handlungen aus der Perspektive des Völkerrechts, aber auch der Ethik, für die in der Verantwortung stehenden Personen besonders dringlich. Das Bewusstsein für die Bedeutung der damit verbundenen elementaren Fragen müsste deshalb geweckt und geschärft werden (dazu näher Kap. VII).

EXKURS: GEZIELTE TÖTUNG IM VÖLKERRECHT 2.3.4

Der Einsatz bewaffneter Drohnen (UCAVs) gegen Mitglieder der Al-Qaida und der Taliban in Afghanistan, Jemen und Pakistan hat weitreichende Fragen der völkerrechtlichen Legalität aufgeworfen (z. B. O'Connell 2010b). Diese wurden in einer Anhörung des U.S.-Repräsentantenhauses erörtert. Wesentliche Aspekte der Diskussion waren die Fragen, *welche Personen* gezielt getötet werden dürfen, *wo* solche Schläge zulässig sind sowie *wer* diese verantwortlich durchführen darf. Im Folgenden werden die wesentlichen Positionen dieser Debatte abgebildet, da sie die Schlüsselfragen der völkerrechtlichen Debatte veranschaulichen.

Hinsichtlich der Frage, *welche Personen* gezielt getötet werden dürfen, herrschte Konsens über die Gültigkeit des Humanitären Völkerrechts. Dieses erlaubt Angriffe ausschließlich gegen Kombattanten, die sich durch die (kontinuierliche) Zugehörigkeit zu einer bewaffneten Konfliktpartei (»armed forces or organized armed groups«) mit einer effektiven Kommando- und Sanktionsstruktur auszeichnen und deren Funktion eine »direkte Beteiligung an den Feindlichkeiten« mit sich bringt (»continuous combat function«). Damit werden UCAVs nach dem Humanitären Völkerrecht dann als rechtmäßige Waffenplattformen im internationalen bewaffneten Konflikt einzustufen sein, wenn sie den Geboten der militärischen Notwendigkeit und der Verhältnismäßigkeit gegenüber möglichen zivilen Verlusten unterliegen (Anderson 2010a, S. 2; Lewis 2010, S. 1). Personen die keiner bewaffneten Konfliktpartei im Sinne des Humanitären Völkerrechts angehören, gelten als Zivilisten und dürfen nicht angegriffen werden. Vom Sta-

tus des Zivilisten ausgenommen sind nach Artikel 51(3) des ZP I der Genfer Konvention Zivilpersonen während des Zeitraums, in dem sie sich direkt an der feindlichen Auseinandersetzung beteiligen. In dieser Zeit können sie (wie Kombattanten) angegriffen werden. In der Anhörung zeigte sich jedoch, dass die inhaltliche Interpretation dieser Vorschrift und ihre Anwendung auf gezielte Tötungen im Kontext *nicht*internationaler bewaffneter Konflikte umstritten sind. Für diesen Konflikttyp findet das Humanitäre Völkerrecht erst Anwendung, wenn Waffengewalt ausgedehnt bzw. andauernd zwischen den Beteiligten angewendet und damit eine bestimmte Intensität[114] der Auseinandersetzung erreicht wird (Arndt 2010, S. 2). Angesichts der Unschärfe dieses Kriteriums wurden in der Diskussion weitere Aspekte zur Beurteilung der Rechtmäßigkeit des Einsatzes tödlicher Gewalt herangezogen.

Einmal wurde die *räumliche* Bindung bewaffneter Konflikte an einen Kriegsschauplatz betont. Diese Position grenzt bewaffnete Konflikte gegen isolierte terroristische Aktionen oder einzelne Gewalthandlungen durch das Vorliegen bzw. Fehlen intensiver und dauerhafter Kämpfe ab. Demnach gelten singuläre Gewalthandlungen von Zivilisten oder organisierter bewaffneter Gruppen abseits eines Schlachtfelds *nicht* als Beteiligung an einem bewaffneten Konflikt im Sinne des Humanitären Völkerrechts, sondern als kriminelle Handlung. Folglich ist der Einsatz von militärischen UCAVs nicht zulässig. Stattdessen sind polizeiliche Maßnahmen zu ihrer Bekämpfung geboten. Dies schließt die Warnung vor dem Einsatz tödlicher Gewalt ein, was der Logik eines UCAV-Einsatzes widerspricht (O'Connell 2010a, S. 1 u. 4).

Eine andere Position wendete dagegen ein, dass das Humanitäre Völkerrecht keine geografische Einschränkung bewaffneter Konflikte vorgibt. Da bewaffnete Konflikte sich über das Territorium eines Staates oder auch über angrenzende Gebiete benachbarter Staaten hinaus erstrecken, sei der Einsatz von UCAVs auch abseits des Hauptkonflikts zulässig (Lewis 2010, S. 3 f.). Eine weiter gehende Auslegung dieser Position gründet auf internationalem Gewohnheitsrecht oder wird direkt aus Artikel 51 der UN-Charta abgeleitet. Nach einer offensiven Interpretation des Prinzips der Selbstverteidigung tragen von UCAVs durchgeführte gezielte Tötungen abseits des Orts bewaffneter Konflikte im Sinne des Humanitären Völkerrechts dazu bei, die Ausweitung eines Krieges zu verhindern (Anderson 2010a, S. 3; Anderson 2010b, S. 4 f.; Glazier 2010, S. 2).

Gegen die zuletzt angeführte Einschätzung wurden jedoch auch Einwände erhoben. Erstens wurde die Verletzung des staatlichen Souveränitätsprinzips durch grenzüberschreitende Drohneneinsätze problematisiert. Zweitens wären nach

114 Indikatoren für die Bemessung können beispielsweise Dauer, Intensität und Zahl der einzelnen Konfrontationen, die eingesetzten Waffen, die Zahl der an Kampfhandlungen Beteiligten und der Opfer sowie das Ausmaß an Zerstörung und Flüchtlingsbewegungen sein (Arndt 2010, S. 2).

dieser Auslegung militärische Schläge auch in urbanen Zentren wie London, Paris oder New York denkbar. Dagegen wiederum wurde angeführt, dass zum einen für grenzüberschreitende gezielte Tötungen eine Erlaubnis der jeweiligen Regierung einzuholen wäre und zum anderen die Kriterien der militärischen Notwendigkeit und der Angemessenheit erfüllt sein müssten – sodass ein solcher Schlag offensichtlich nicht statthaft wäre (Lewis 2010, S. 5).

Bezüglich der Frage, *wer* gezielte Tötungen durchführen und verantworten darf, herrschte unter den vertretenen Experten weitgehend Übereinstimmung, dass dazu ausschließlich Angehörige des Militärs befugt seien. Weitere Akteure, wie Angehörige von Geheimdiensten, verfügten dagegen weder über die nötige Ausbildung in den Regeln bewaffneter Konflikte, noch unterstünden sie einer effektiven Kommando- und Sanktionsstruktur, die die Einhaltung des Internationalen Humanitären Völkerrechts garantiert (Lewis 2010, S. 6; O'Connell 2010a, S. 6).

FÜR UND WIDER DES »TARGETED KILLING«

»The use of drones to target Al Qaeda and Taliban leadership *outside* of places in which it is factually plain that hostilities are underway begins to invoke the current legal debates over drone warfare. From a strategic standpoint, of course, the essence of much fighting against a raiding enemy is to deny it safe haven …« (Anderson 2010b, S. 3)

»Combat drones are battlefield weapons. They fire missiles or drop bombs capable of inflicting very serious damage. Drones are not lawful for use outside combat zones.« (O'Connell 2010a, S. 1)

»But under the legal theories adopted by our government in prosecuting Guantánamo detainees, these CIA officers as well as any higher level government officials who have authorized or directed their attacks are committing war crimes.« (Glazier 2010, S. 5)

»Is it lawful to use drones in uses of force that do not constitute »armed conflict« with a non-state actor (Al Qaeda and similar groups) in a technical legal sense, because where the drone strike might take place is far away from the current places of hostilities? … such strikes can be justified, even though separate and distinct from »armed conflict,« as lawful self-defense.« (Anderson 2010a, S. 3)

»Once an individual affiliates with the armed forces, they become a lawful object of attack whether engaged in battle, on the playing fields of West Point, or even at home on leave with their family – subject only to the rule of proportionality governing civilian losses.« (Glazier 2010, S. 4)

DER STATUS VON BEDIENUNGSPERSONAL UND BASISSTATION 2.4

Zur völkerrechtlichen Einordnung des Einsatzes unbemannter Systeme im bewaffneten Konflikt ist auch der Status von Bedienungspersonal und Basisstation von Bedeutung. Dabei geht es insbesondere um den Kombattantenstatus des Bedienungspersonals und die Frage, ob eine Basisstation ein militärisches Objekt darstellt.

BEDIENUNGSPERSONAL

Soweit das Bedienungspersonal den Streitkräften im Sinne von Artikel 43 Abs. 1 ZP I angehört, hat es Kombattantenstatus und ist »berechtigt, unmittelbar an Feindseligkeiten teilzunehmen« (Artikel 43 Abs. 2 ZP I). Die Steuerer können deshalb aber auch angegriffen werden, im Fall der Gefangennahme müssen sie als Kriegsgefangene behandelt werden.

Handelt es sich beim Bedienungspersonal dagegen um *Zivilpersonen*, so stellt sich die Frage nach deren Status. Artikel 50 Abs. 1 ZP I bestimmt als Zivilperson »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«. Zivilpersonen genießen einen besonderen Schutz vor Gewalt. Allerdings gilt dieser Schutz nur »sofern und solange sie nicht unmittelbar an Feindseligkeiten teilnehmen» (Artikel 51 Abs. 3, ZP I). Tun sie dies aber, darf gegen sie auch Gewalt ausgeübt werden (Gasser 2008, S. 81). Entscheidend ist also die Frage, ob und inwieweit die Beteiligung am Einsatz von unbemannten Systemen als *unmittelbare Teilnahme* an den Feindseligkeiten zu qualifizieren ist. In der fachlichen Diskussion finden sich Altmann et al. (2008, S. 194) zufolge hierzu zwei Positionen: 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.[115] Nach anderer Ansicht dagegen kommt es darauf an, ob das Verhalten einer Zivilperson übergreifend als unmittelbare Teilnahme an den Feindseligkeiten zu qualifizieren ist; beispielsweise durch ihre grundsätzliche Bereitschaft, sich potenziell und fallweise direkt in Feindseligkeiten zu engagieren bzw. dann, wenn die Zivilperson organisatorisch in die entsprechenden Geschehensabläufe der Streitkräfte integriert ist.

115 In der Interpretive Guidance des International Committee of the Red Cross (ICRC) wird die Ansicht vertreten, dass konkrete Maßnahmen der Vorbereitung den Beginn einer direkten Teilnahme an feindlichen Auseinandersetzungen und der Rückzug von diesen Aktivitäten das Ende der Teilnahme bezeichnen und dass danach der Status des Zivilisten wiedererlangt wird. Es wird ausdrücklich dafür plädiert, direkte Teilnahme ausschließlich als spezifische feindliche Handlung zu verstehen, nicht aber darüber hinausgehend als eine »continued intent to carry out unspecified hostile acts in the future« (Interpretive Guidance 2008, S. 1015).

Unter diesen Voraussetzungen dürfte das zivile Bedienungspersonal einer Kontrollstation den Status von Kombattanten innehaben, denn der Söldnerdefinition nach Artikel 47 ZP I[116] unterfielen Angehörige einschlägiger Unternehmen, die in den entsprechenden Streitkräfteablauf integriert sind, nicht (Altmann et al. 2008, S. 195). Als Kombattanten wiederum sind sie legitime Ziele eines Angriffs im Sinne der völkerrechtlichen Bestimmungen (Gulam/Lee 2006, S. 131).

BODENSTATION

Der Status der Bodenstation als militärisches Ziel ist anhand von Artikel 52 Abs. 2 ZP I zu bestimmen (zum Folgenden Altmann et al. 2008, S. 195 ff.). Dort heißt es: »Angriffe sind streng auf militärische Ziele zu beschränken. Soweit es sich um Objekte handelt, gelten als militärische Ziele nur solche, die aufgrund 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.« Danach dürfte eine Bodenstation für unbemannte Systeme ein militärisches Ziel darstellen, da sie – aufgrund entweder von Beschaffenheit, Standort, Zweckbestimmung oder Verwendung – im bewaffneten Konflikt wirksam zu militärischen Handlungen beiträgt. Ebenso dürfte ihre gänzliche oder teilweise Zerstörung wie auch ihre Inbesitznahme oder Neutralisierung einen »eindeutigen militärischen Vorteil« darstellen.

Allerdings ist zu berücksichtigen, dass die Bodenstation häufig nicht im Konfliktgebiet, sondern räumlich weit entfernt liegt, beispielsweise im Hinterland oder im Heimatland einer der Konfliktparteien. Hinsichtlich der sich aus dem Humanitären Völkerrecht ergebenden Beschränkungen bei der Bekämpfung entsprechender militärischer Ziele – vor allem durch den Grundsatz der Verhältnismäßigkeit (z. B. Gasser 2008, S. 27 u. 85) – ist zunächst festzuhalten, dass Angriffe im Hinterland der gegnerischen Konfliktpartei grundsätzlich nicht verboten sind (Altmann et al. 2008, S. 195). Der Angreifer ist aber auch in diesem Fall verpflichtet, Vorsichtsmaßnahmen zu treffen. Befindet sich die Bodenstation etwa in der Nähe ziviler Objekte, so sind nach Artikel 57 ZP I »alle praktisch möglichen Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um Verluste unter der Zivilbevölkerung, die Verwundung von Zivilpersonen und die Beschädigung ziviler Objekte, die dadurch mit verursacht werden könnten, zu vermeiden und in jedem Fall auf

116 Es werden insgesamt sechs Kriterien genannt, die kumulativ erfüllt sein müssen. Aufgrund dieser definitorischen Enge hat der Söldnerbegriff nach Schaller (2005, S. 9) »kaum praktische Bedeutung erlangt«.

ein Mindestmaß zu beschränken« (Abs. 2 lit. a ii).[117] 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 verursacht, die in keinem Verhältnis zum erwarteten konkreten und unmittelbaren militärischen Vorteil stehen« (Abs. 2 lit. a iii), so muss die Konfliktpartei von diesem Angriff Abstand nehmen.

Das Humanitäre Völkerrecht enthält allerdings nicht nur Verpflichtungen des Angreifers. Vielmehr muss *auch 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).

SICHERHEITS- UND RÜSTUNGSKONTROLLPOLITISCHE FOLGEN EINER BREITEN EINFÜHRUNG VON UNBEMANNTEN SYSTEMEN 3.

GRÜNDE FÜR EINE RÜSTUNGSKONTROLLPOLITISCHE BEWERTUNG 3.1

In den vorausgegangenen Abschnitten wurde eine Einschätzung unbemannter militärischer Systeme im Blick auf ihre Kompatibilität mit Rüstungskontroll- bzw. Exportkontrollvereinbarungen sowie ihre Verträglichkeit mit dem Humanitären Völkerrecht vorgenommen. In deren Ergänzung geht es im Folgenden um Überlegungen zu den Risiken einer weiter verbreiteten Nutzung von UMS für die Stabilität (international wie regional) sowie um die Gefahrenvorsorge im Blick auf terroristische Nutzungsformen (zum Folgenden Petermann et al. 1997).

Die Notwendigkeit einer Analyse und Bewertung von UMS ergibt sich deshalb heute – auch nach Ende der Blockkonfrontation – zunächst aus einer möglichen *Gefährdung der Stabilität*. Neue militärische Optionen werden vor allem dann destabilisierend wirken und das Konfliktrisiko erhöhen, wenn sie Vorwarnzeiten verkürzen, den potenziellen Angreifer überlegen machen bzw. erscheinen lassen oder die Zielerfassung in Echtzeit verbessern. Neue Technologien und wehrtechnische Systeme, die demjenigen, der zuerst und entschlossen angreift, einen deutlichen Vorteil verschaffen, erzeugen – auf alle Beteiligten – einen *Druck zur*

117 Ausdrücklich stellt auch 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.«

Prävention und wirken so destabilisierend. Ob sich solche Möglichkeiten aus einer intensiven militärischen Nutzung innovativer UMS ergeben könnten, wäre deshalb zu prüfen.

Ein zweiter Grund ist die *Gefahr eines (qualitativen) Wettrüstens*. Erfahrungen belegen, dass es einen Aktions-Reaktions-Mechanismus im internationalen Staatensystem auch und gerade auf dem Gebiet militärisch relevanter Technologien gibt: Anstrengungen eines Akteurs induzieren entsprechende Bemühungen anderer mit dem Ziel, aufzuholen oder gleichzuziehen – jeweils begründet mit der Risikovorsorge oder Gefahrenabwehr. Da erwartet wird, dass neue Technologien auch anderen Staaten zur Verfügung stehen, werden zusätzlich Gegenmaßnahmen ergriffen. Vergleichbare Wahrnehmungen und Aktivitäten erfolgen bei weiteren Akteuren mit der wahrscheinlichen Folge einer Rüstungsspirale. Ein entsprechender problematischer Mechanismus ist auch bei einer Intensivierung der Entwicklung und Beschaffung von UMS zu erwarten. Aktions-Reaktions-Mechanismen gefährden dann die Anstrengung zur verbesserten politischen Kooperation und verstärken bestehendes Misstrauen.

Drittens ist mit der *Möglichkeit gesteigerter Bedrohungswahrnehmung* zu rechnen. Qualitative (Auf-)Rüstung als strukturelle Modernisierung der Streitkräfte eröffnet kontinuierlich neue militärische Optionen. Dies kann zu Bedrohungsvorstellungen führen und provokativ wirken. Ob in einer ernsthaften Krise der bewaffnete Konflikt begonnen oder eher Zurückhaltung geübt wird, hängt mit diesen Gefühlen der Bedrohung bzw. Verwundbarkeit zusammen. Die Zielsetzungen der U.S.-amerikanischen UMS-Politik könnten u. a. den Versuch anderer Staaten induzieren, durch nachholende Modernisierungsanstrengung zu reagieren oder offensive strategische Potenziale auszubauen. Aber auch Maßnahmen und Optionen asymmetrischer Natur könnten insbesondere durch unterlegene Kontrahenten ins Auge gefasst werden.

Im Licht dieser Erwägungen werden im Folgenden einige sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Überlegungen zur Diskussion gestellt.

BEURTEILUNG UNTER STABILITÄTSASPEKTEN 3.2

Im Folgenden werden für das Beispiel unbemannte fliegende Systeme drei Arten von Bedrohungen und Auseinandersetzungen unterschieden: mit einem etwa ebenbürtigen militärischen Gegner, mit einem unterlegenen militärischen Gegner (in irregulären kriegerischen Auseinandersetzungen) und die asymmetrische Bedrohung und Kriegsführung durch substaatliche Gruppen (zum Folgenden Altmann et al. 2008, S. 206 ff.).

In etwa ebenbürtige militärische Gegner

Eine zukünftige verstärkte Rolle unbemannter – vor allem fliegender – Systeme lässt sich aus zentralen U.S.-amerikanischen Strategiedokumenten ablesen, wie sie seit Beginn dieses Jahrtausends vorgelegt wurden.[118] Ein immer wieder genanntes Ziel ist es danach, innerhalb kürzester Zeit nahezu jedes Ziel auf dem Globus mittels konventionell bestückter Trägersysteme und Präzisionswaffen zerstören zu können. Als mögliche Angriffsziele gelten Produktionsanlagen für Massenvernichtungswaffen, Raketenbasen, Führungseinrichtungen oder Ausbildungslager von Terroristen. Dafür vorgesehene Waffenplattformen sind UAVs, vor Ort stationierte Flugzeuge, Marschflugkörper als auch ballistische Raketen mit großer Reichweite, die von U-Booten oder vom U.S.-Territorium aus gestartet werden können. Eine vom National Research Council (NRC 2008)vorgelegte Studie oder der aktuelle Quadrennial Defense Review Report (DoD 2010a) belegen, dass die Option (nichtnuklearer) präziser, weltweiter Schläge zur Prävention bzw. Präemption nach wie vor präsent ist.

Schon im »Quadrennial Defense Review Report 2001« des U.S. Verteidigungsministeriums 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 (DoD 2001, S. 44). Der »Quadrennial Defense Review Report 2006« gab als Frist für die Entwicklung von »long-range capabilities« etwa 20 Jahre vor (DoD 2006a, S. 6 u. 31). Als Ziel genannt wurden u. a. schnelle und ständige Einsatzverfügbarkeit, kurze Reaktions- und Ausführungsdauer und Fähigkeit zur Erfassung und Bekämpfung mobiler Ziele. Als Trägerplattformen werden – neben Flugzeugen und U-Booten – auch Marschflugkörper und bestimmte Typen von UAVs ins Auge gefasst (Tab. 30). Die U.S. Navy wird beispielsweise aufgefordert, ein unbemanntes und betankbares Langstreckenflugzeug zu entwickeln, um eine bessere »standoff capability« zu erlangen (DoD 2006a, S. 46). Seine Leistungsparameter ermöglichen ein schwer zu entdeckendes Eindringen weit ins Territorium des Gegners und überraschende Präzisionsschläge.

Das Verteidigungsministerium plante, nicht nur die Kapazitäten für eine langandauernde Überwachung (»persistent surveillance«) zu verdoppeln, sondern auch eine neue bodengestützte »long-range strike force« bis 2018 zu etablieren, davon 45 % unbemannte Systeme (nach GAO 2008). Die künftige Ausrichtung der U.S.-Streitkräfte für die Aufgabe von Fernschlägen wird derzeit in einer Studie analysiert, die technische Lösungen und Kombinationen von tief eindringenden Plattformen und abstandsfähigen Waffen bewertet (DoD 2010a, S. 32 f.).

118 Anfang 2000 forderte der U.S. Kongress, bis Ende des Jahrzehnts jeweils ein Drittel der bemannten bodengebundenen Kampffahrzeuge sowie der Kampfflugzeuge (»deep-strike aircraft«) durch unbemannte Systeme zu ersetzen (DoD 2007, S. 46).

TAB. 30 UAV-TRÄGERSYSTEME ALS ELEMENTE IM KONZEPT DES PROMPT GLOBAL STRIKE

System/ Programm	Typ	Reichweite	Geschwindigkeit	Nutzlast	Status
Predator B	UAV	930 km	130–220 km/h	204 kg	im Einsatz
Hunter	UCAV	200 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	HTV 20	16.700 km	Mach 20 (ca. 24.500 km/h)	5.440 kg	Studie

Quelle: DoD 2009, S. 65, 67 u. 80; s. a. Altmann 2008; NRC 2008

Daneben prüft die Marine Optionen zur Stärkung der Fernschlagskapazität der Trägerflotte durch ein »Naval Unmanned Combat Aerial System« (N-UCAS), die U.S. Air Force Optionen zur Modernisierung der Langstreckenaufklärer und -bomber (DoD 2010, S. 33). Jedoch sind hier unbemannte Systeme nicht explizit benannt. Im Kontext der Transformation der Streitkräfte sollen die operativen Anforderungen an UMS u. a. im Aufgabenfeld Global Strike durch das Verteidigungsministerium geprüft werden (DoD 2010a, S. 41). In dessen aktuellen Planungen wird offensichtlich, welche zentrale Rolle in quantitativer wie qualitativer Hinsicht unbemannte fliegende Systeme spielen sollen: Die Zahl der MQ-9 Reaper soll erhöht werden, die von »long-endurance, unmanned ISR assets« (auch waffentragend) soll bis 2020 von 300 auf 800 steigen. Herausgestrichen wird schließlich, dass UAVs zukünftig eine Rolle als »long-range strike platforms« und »fighter/attack aircraft« spielen werden (GAO 2010, S. 13 u. 14). Als Folge sind Gegenmaßnahmen nicht auszuschließen. So erwartet beispielsweise die U.S. Army, dass sogenannte »regional powers« neben weiteren differenzierten Rüstungsanstrengungen auch eigene unbemannte fliegende Systeme einführen sowie Maßnahmen zur Abwehr von UAVs ergreifen (DoD 2010b, S. 20).

Die Einführung bewaffneter UAVs unterschiedlicher Reichweite, optional bestückbar mit Massenvernichtungswaffen, könnte Bedrohungsvorstellungen fördern und eine erhebliche destabilisierende Wirkung haben. Da mit weitreichenden unbemannten fliegenden Systemen mit hoher Ausdauerfähigkeit eine permanente Präsenz außerhalb des Luftraums bzw. Territoriums des potenziellen Kontrahenten etabliert werden könnte, würde dieser unter Druck gesetzt, da UMS so attackieren könnten, dass für eine Reaktion nur »a brief window of opportunity

between possible contact and destruction« verbleibt. »This places states under significant pressure to mobilize their own forces, and increases the chance that war will occur in error.« (Sharkey 2009, S. 29; s. a. Sparrow 2009b, S. 27) Die Erweiterung des Spektrums potenzieller Waffenträger könnte deshalb auch die Krisenstabilität verringern sowie die Präemptionsgefahr erhöhen. Bestehende Rüstungskontrollverträge erfassen – wie gezeigt – diese Waffenkategorien mit Ausnahme des KSE-Vertrags nicht. Dabei könnte dieser aufgrund der recht hohen Obergrenzen einen qualitativen Rüstungswettlauf in dieser Kategorie von Trägersystemen kaum bremsen und ist zudem auf das Vertragsgebiet begrenzt.

Verwendung von UMS durch einen unterlegenen militärischen Gegner

Angesichts der allgemeinen konventionellen Überlegenheit der U.S.- sowie alliierten Streitkräfte bildet die Nutzung von UMS, insbesondere UAVs, für einen unterlegenen Gegner, eine weitere Option im Rahmen der asymmetrischen Kriegsführung. Deshalb wird ein koordinierter Überraschungsangriff auf Truppenstandorte als zunehmendes Risiko gesehen. Auch der Einsatz von Massenvernichtungswaffen mittels UAVs ist zu befürchten.

In den USA werden seit dem 11. September 2001 diverse Bedrohungsszenarien u. a. auch mit Marschflugkörpern diskutiert. So erwartete bereits die öffentlich zugängliche Zusammenfassung des »National Intelligence Estimate« aus dem Jahr 2001, dass eine wachsende Zahl von Ländern bis etwa 2015 über unbemannte Marschflugkörper zum Landangriff (»Land-Attack Cruise Missile«, LACM) verfügen wird, sei es durch Eigenentwicklung, Kauf oder Modifikation anderer Systeme, wie z. B. Anti-Ship Cruise Missiles (ASCMS) oder UAVs (National Intelligence 2001). Auch das National Air and Space Intelligence Center, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, folgert in seiner Studie »Ballistic and Cruise Missile Threat«, dass die Bedrohung durch Marschflugkörper, die für den Angriff auf Landziele gedacht sind, innerhalb des nächsten Jahrzehnts zunehmen wird, da mindestens neun Staaten während des nächsten Jahrzehnts LACMs produzieren und einige davon ihre Marschflugkörper für den Export verfügbar machen werden (National Air 2009, S. 27).

Die Konversion eines Antischiff-Marschflugkörpers in einen Marschflugkörper, der sich zu Landangriffen eignet, ist technisch zwar nicht trivial, aber, wenn ein geeigneter Antrieb (»turbojet engine«) sowie ein leistungsfähiges Navigationssystem zur Verfügung stehen, durchaus für kleine Staaten leistbar (Gormley 2005, S. 3; s. a. Kueter/Kleinberg 2007, S. 25). Der Umbau eines UAVs in eine LACM folgt weitgehend ähnlichen Prinzipien (Mahnken 2005, S. 28 f.). Flugkörper wie diese könnten auch von Schiffen oder Standorten einige hundert Kilometer vor der U.S.-Küste eingesetzt werden, von wo aus viele Städte oder Industrieansiedlungen problemlos erreichbar sind (Gormley 2005, S. 6; s. a. Jackson et al. 2008, S. 37 ff.).

Zusätzlich zur Bedrohung des U.S.-Territoriums stellen schon heute neben avancierten Marschflugkörpern auch »Low-Technology Cruise Missiles« – konvertierte UAVs oder Modellflugzeuge –eine Gefahr für U.S.-Truppen oder ihre Alliierten im Auslandseinsatz dar.[119] Bereits weniger als ein Dutzend mit Submunition bestückter Marschflugkörper könnte beinahe ein ganzes, im Freien stationiertes Jagdgeschwader schwer beschädigen oder zerstören.[120] Umgebaute Kleinflugzeuge wären eine alternative Option – als Waffenträger mit geringen Kosten sowie einer größeren Nutzlast an Submunition (Gormley 2003, S. 27; Mahnken 2005, S. 36).

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 (Feickert 2005, S. 3). Dagegen wurden mindestens zwei irakische Leichtflugzeuge – bei denen befürchtet werden musste, dass sie in der Lage waren, chemische oder biologische Kampfstoffe zu tragen – erst entdeckt, nachdem sie bereits Stellungen von U.S.-Truppen überflogen hatten und bereits über einem U.S.-Camp in der Nähe von Bagdad waren (Gormley 2003, S. 1 u. 67). Die insgesamt erkennbare gut funktionierende Verteidigung gegen ballistische Kurzstreckenraketen einerseits und die erheblichen Mängel bei der Verteidigung gegen nur schlecht detektierbare unbemannte fliegende Waffenträger andererseits dürften die Attraktivität von UAV-Systemen für potenzielle U.S.-Gegner gesteigert haben (Gormley 2004).

Marschflugkörper und bestimmte UAVs eignen sich – u. a. aufgrund stabilen Flugverhaltens und der langsamen Fluggeschwindigkeit – gut zum Transport und Ausbringen von chemischen oder biologischen Agenzien (oder auch dazu, in einer bestimmten Höhe eine nukleare Explosion zu bewerkstelligen). Verglichen mit einer ballistischen Rakete, die mit einer biologischen Substanz bestückt ist, wird der Letalitätsradius eines Marschflugkörpers oder UAVs von einigen Experten als erheblich größer eingeschätzt (Gormley 2004; Miasnikov 2005, S. 7). Angesichts der kaum zu verhindernden Weiterverbreitung von Know-how und Technologien zum Bau von unbemannten fliegenden Plattformen wird auch in Zukunft die Gefahr von koordinierten und gezielten UAV-Angriffen bestehen.

119 Auf Basis einer Simulation kam eine RAND-Studie bereits 1999 zu dem Ergebnis, dass ein konventioneller Angriff mit ca. 100 Flugkörpern und UAVs auf vier Luftwaffenstützpunkte im Persischen Golf zu einer Zerstörung von 90 % der auf Flugfeldern abgestellten Flugzeuge führen kann. Zusätzlich würde der Einsatz von 40 ballistischen Raketen und acht konvertierten UAVs die Unterkünfte der Mannschaften und die Frühwarnradars in vergleichbarer Weise treffen (Mahnken 2005, S. 37).

120 Andererseits könnte mit einer ballistischen GPS-gesteuerten Rakete dieselbe Schadenswirkung erzielt werden (Mahnken 2005, S. 36).

3.3 NUTZUNG DURCH SUBSTAATLICHE AKTEURE

Obwohl bei Extremisten im Rahmen bisheriger Anschläge vor allem ferngezündete Bomben, Sprengstofffallen oder Selbstmordattentäter zum Einsatz kamen, könnten nach Meinung einiger Experten zukünftig neue technologiebasierte Optionen auch ihren Einzug in neue terroristische Strategien finden (Gormley 2005; Jackson et al. 2008). In Anbetracht bestehender Schwächen der Exportüberwachung bestimmter dual-use-fähiger 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. Eine Studie des George C. Marshall Institute aus dem Jahr 2007 kommt zu dem Ergebnis, dass früher oder später insbesondere terroristische Gruppen Marschflugkörper als »Instrument des Terrors« gegen Ziele in den Vereinigten Staaten einsetzen könnten (Kueter/Kleinberg 2007, S. 24). Es wird auch erwartet, dass zukünftig programmierte Flugzeuge als Waffe eingesetzt werden (Altmann et al. 2008, S. 212). Ferngesteuerte Flugzeuge oder konvertierte Modellflugzeuge wären leicht zu bauen, und eine Radarüberwachung ist zurzeit relativ einfach zu überwinden (Mahnken 2005, S. 28).[121]

Die Nutzung eines UUVs oder eines USVs – beispielweise für einen Angriff auf einen Hafen – wird ebenfalls diskutiert. Patterson/Patterson (2010) sind der Ansicht, dass dieses Szenario unterschätzt würde. Angesichts der hohen Verletzbarkeit und strategischen ökonomischen Bedeutung großer Seehäfen, wären die Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft erheblich. Deshalb sei eine solche Option asymmetrischer Kriegsführung für einen Angreifer vielversprechend.

Der Einsatz eines unbemannten Flugsystems im Rahmen terroristischer Anschläge weist im Prinzip eine Vielzahl möglicher Vorteile auf (Altmann et al. 2008, S. 212 ff.; s. a. Mandelbaum et al. 2005): UAVs sind im Vergleich mit ballistischen Raketen und bemannten Flugzeugen kostengünstiger. Preisgünstige, gängige zivile Technologien ermöglichen bereits heute die Konstruktion von UAVs, deren Reichweite und Zielgenauigkeit für zahlreiche terroristische Anschlagsszenarien ausreichend sein dürften. Zudem ist davon auszugehen, dass sich in den nächsten Jahrzehnten ein expandierender ziviler Markt an Systemkomponenten und kompletten UAV-Systemen in allen Größen konstituieren wird, der frei zugänglich sein wird. Als weiterer Vorteil erweist sich der Umstand, dass die eigentliche Konstruktion und Vorbereitung eines UAVs auf kleinstem Raum, nahezu im Verborgenen, stattfinden kann. Der Transport wäre in einem Standardcontainer und mittels gängiger ziviler Fahrzeuge möglich. Der eigentliche Start kann ohne große Vorbereitung unmittelbar vor dem geplanten Anschlag erfol-

121 Modellflugzeuge mit Sprengstoffzuladung zum Angriff gegen Taliban in Afghanistan sollen die Spezialkräfte Großbritanniens schon eingeführt haben (Leake 2006).

gen. Die operativen Vorteile eines UAVs liegen einmal in der Möglichkeit, auch solche Ziele anzufliegen, die auf dem Landweg nur schwer zu erreichen wären (ggf. wegen Absperrungen, Bewachung etc.). Darüber hinaus haben sich heutige Luftverteidigungssysteme in Bezug auf eine erfolgreiche Abwehr tieffliegender, insbesondere kleiner UAVs und Marschflugkörper bisher als nur sehr unzureichend erwiesen. Dies liegt in der Tatsache begründet, dass eine flächendeckende Überwachung auch mit modernen bodengestützten Radars kaum möglich ist (Mahnken 2005, S. 42; s. a. Gormley 2003; Miasnikov 2005, S. 7). Eine geeignete Abwehr für tieffliegende Marschflugkörper und UAVs würde zusätzliche Strukturen erfordern, beispielsweise luftgestützte Radarplattformen.

Neben dem Einsatz mit Sprengstoff bestückter UAVs als fliegende Bombe macht vor allem die Möglichkeit der Ausbringung von Massenvernichtungswaffen UAVs für Terroristen attraktiv. Die Detonation einer sogenannten schmutzigen Bombe über einer Stadt hätte eine ungleich stärkere Wirkung als am Boden (Mahnken 2005, S. 40). Des Weiteren sind UAVs aufgrund ihrer zumeist niedrigen Geschwindigkeit besonders gut geeignet, Aerosole mittels einer Sprühvorrichtung in geringen Höhen großflächig zu verbreiten, eine Ausbringungsform, die sich für B- und C-Waffen eignen würde (Gormley 2005, S. 5).

Abschließend soll noch die Möglichkeit eines gezielten Angriffs gegen wichtige Personen mit kleineren Fluggeräten erwähnt werden (Lele/Mishra 2009, S. 61). Wenn man ein Modellflugzeug mit Videokamera und Fernsteuerung zur Verfügung hat, ist es nicht schwer, eine kleine Sprengladung mit Zündmechanismus hinzuzufügen. Um das Flugzeug direkt gegen eine Person zu steuern, ist keine Modifikation erforderlich. Man könnte die Zielperson direkt mechanisch treffen oder in unmittelbarer Nähe eine kleine Sprengladung zünden. Ferner hätte man die Optionen zielnaher Freisetzung chemischer oder biologischer Kampfstoffe. Für solche Angriffe sind sehr kleine Nutzlasten zwischen wenigen und z. B. 50 g ausreichend – entsprechend wären dafür Kleinstflugzeuge und -flugkörper von bis zu einigen 100 g und Ausmaßen von 10 bis 50 cm geeignet. Unter Umständen könnten damit auch empfindliche Komponenten von Infrastruktureinrichtungen beschädigt werden (Altmann et al. 2008, S. 217).[122] Allerdings setzt die punktgenaue Steuerung solcher Kleinstflugzeuge erhebliches Training voraus und kann in Städten und unter bestimmten Wetterbedingungen schwierig sein.

122 Aufgrund dieses Bedrohungspotenzials sollte die mögliche Nutzung solcher Systeme für Anschläge genauer als bislang analysiert werden. Darauf hat Altmann (2001 u. 2006) hingewiesen und ein weitgehendes internationales Verbot kleiner mobiler Systeme empfohlen.

EXKURS: UNBEMANNTE FLIEGENDE SYSTEME UND KONVENTIONELLE BOMBEN 3.4

Zur Beantwortung der Frage, inwiefern die Verwendung von UAVs und Marschflugkörpern eine ernsthafte asymmetrische Bedrohung darstellen könnte, wurden in einer RAND-Studie UAVs und Marschflugkörper mit alternativen Angriffsmethoden verglichen. Dabei wurden drei mögliche asymmetrische Angriffsszenarien unterschieden:

- *direkter Angriff* mittels Explosivstoffen/-waffen, z. B. auf Infrastrukturziele oder Gebäude, aber auch auf Personen oder Menschenansammlungen;
- *indirekter Angriff*, mit dem Ziel, durch die bloße sichtbare Möglichkeit eines Angriffs von UAVs und Marschflugkörpern Panik und Unruhe zu stiften und von anderen Angriffen abzulenken;
- Einsatz von mit *Sprühvorrichtungen* versehenen UAVs oder Marschflugkörpern zur gezielten großflächigen Verbreitung von chemischen, biologischen oder radiologischen Agenzien in Form eines Aerosols (nach Jackson et al. 2008, S. 16).

Beim *direkten* Angriffsszenario sind die relevanten Parameter die Sprengkraft (abgeschätzt anhand der Menge an Explosionsstoff, die zum Ziel befördert werden kann), die Art der Wirkung (z. B. Druckwelle, Splitterwirkung) und die Genauigkeit der Waffe sowie die Wahrscheinlichkeit, dass diese das Ziel erreicht. Beim Vergleich zeigt sich u. a., dass die Effektivität der Waffennutzlast von UAVs und Marschflugkörpern oft viel geringer ist als die anderer Optionen (Tab. 31). So reicht das Spektrum der Sprengkraft bei UAVs von 5 bis 500 kg C-4-Äquivalent, bei einer Pkw-Autobombe von 100 bis 500 kg, einer Lkw-Autobombe von 1.500 bis 15.000 kg, und ein Geschäftsflugzeug kann ungefähr 900 kg C-4-Äquivalent transportieren.

Die unmittelbare Waffenwirkung der Angriffsoptionen aus Tabelle 31 – unter Annahme eines Angriffs auf eine Menschenansammlung in einem 10.000 m^2 großen Zielgebiet – stellt sich folgendermaßen dar: Der Explosionsradius bei Pkw- und Lkw-Autobomben liegt im Bereich von 20 bis 90 m und deckt so eine Fläche ab, die mit bis zu 25.400 m^2 dem mehr als 2,5-Fachen des Zielgebiets entsprechen kann. UAVs und Marschflugkörper dagegen weisen Explosionsradien zwischen etwa 1 und 30 m auf. Dies entspricht maximal einer Fläche von 2.800 m^2 und damit einer Abdeckung von weit weniger als der Hälfte des Zielgebiets (Jackson et al. 2008, S. 21).

TAB. 31 GESCHÄTZTE SPRENGKRAFT VERSCHIEDENER ANGRIFFSOPTIONEN

Waffen	Sprengkraft in kg von C-4-Äquivalent
Bombengürtel	9
Pkw-Autobombe (klein)	100
Pkw-Autobombe (mittel)	225
Pkw-Autobombe (groß)	500
Lkw-Autobombe (klein)	1.500
Lkw-Autobombe (mittel)	3.000
Lkw-Autobombe (groß)	15.000
UAV (klein)	5
UAV (mittel)	100
UAV (groß)	500
Geschäftsflugzeug	900
Cruise Missile	500

Quelle: Jackson et al. 2008, S. 20

Auf der Basis dieser Daten kommen die Autoren der RAND-Studie vor allem zu dem Schluss, dass im Fall des Einsatzes von UAVs und Marschflugkörpern mit Gefechtsköpfen zwar ähnliche Wirkungen erreicht werden können wie mit Pkw-Bomben, dass es aber am Boden auch eine Vielzahl alternativer Möglichkeiten gibt, die eine weit größere Wirkung aufweisen als UAVs oder Marschflugkörper. Deren möglicher Vorteil gegenüber bodengestützten Angriffsoptionen könnte aber darin liegen, durch einen Angriff aus der Luft einer Bodenüberwachung ausweichen oder etwaige Absperrungen überwinden zu können (Jackson et al. 2008, S. 26).

INFORMATIONS- UND DISKUSSIONSBEDARF, HANDLUNGSFELDER VII.

Unbemannte Systeme haben aufgrund ihrer Leistungsmerkmale in kurzer Zeit eine eindrucksvolle Karriere in vielen Streitkräften der Welt gemacht. Ihr Potenzial, zukünftig erhebliche Anteile bemannter Systeme zu ersetzen, in bestimmten Einsätzen den personellen Aufwand zu reduzieren und den Schutz der Soldaten deutlich zu verbessern, haben sie schon unter Beweis gestellt. Es ist beileibe noch nicht ausgeschöpft. Im Zuge der zu erwartenden weiteren Transformation der Streitkräfte in hochtechnisierte Armeen, die zu weltweiten vernetzten Operationen befähigt sind, werden UMS eine zentrale und zunehmend bedeutende Rolle spielen. Dies wird weitere Anpassungen sicherheitspolitischer Konzepte und militärischer Planungen sowie rüstungskontrollpolitische und völkerrechtliche Überlegungen erfordern.

Die globalen Märkte für militärische Systeme werden voraussichtlich weiter wachsen. Auch ist zu erwarten, dass unbemannte mobile Systeme im globalen Maßstab breite Anwendung für nichtmilitärische Zwecke finden werden. Die industrielle Produktionsbasis moderner Volkswirtschaften und zahlreiche gesellschaftliche Teilsysteme, wie insbesondere der Verkehr, werden sich langfristig drastisch wandeln.

Angesichts der in den Kapiteln V und VI herausgearbeiteten politischen Herausforderungen sollten deshalb aus industrie-, wirtschafts- und innovationspolitischer Sicht einerseits sowie sicherheits-und rüstungskontrollpolitischer Perspektive andererseits eine umfassende Bestandsaufnahme und Bewertung unbemannter Systeme erwogen werden. Hierzu werden im Folgenden erste Überlegungen zur Diskussion gestellt.

INNOVATIONSPOLITISCHE BESTANDSAUFNAHME

Aus volkswirtschaftlicher Sicht stellen sich die Entwicklung und Nutzung militärischer Systeme und der in ihnen inkorporierten Technologien als Referenzmärkte dar, die die Möglichkeiten autonomer Systeme demonstrieren, technologische Fortschritte[123], Lernkurven und Kostensenkungseffekte in Forschung, Entwicklung und Herstellung bewirken sowie die entsprechende industrielle Basis und deren FuE-Kapazitäten stützen. Damit ist die Perspektive einer umfassenden zivilen Nutzung unbemannter Systeme eröffnet. Sie wird intensiv diskutiert und in

123 Solche Fortschritte sind allerdings häufig spezifisch auf militärische Bedürfnisse ausgerichtet. Das Fehlen eines geeigneten Sense-and-avoid-Systems beispielsweise zeigt, dass es hier keinen nennenswerten Spill-over-Effekt aus der militärischen Nutzung gibt.

Form zahlreicher Aktivitäten wie Forschung, Normung, Förderung sowie in unternehmerischen Strategien und politischen Konzepten antizipiert und vorbereitet.

Zwar ist zurzeit ein größerer ziviler Markt noch kaum zu erkennen. Aber die technischen Möglichkeiten und wirtschaftlichen Perspektiven sprechen dafür, dass UMS in zwei bis drei Jahrzehnten nicht nur einige Nischenmärkte besetzt haben werden. Es sind keinesfalls weltfremde Vorstellungen, dass zukünftig beispielsweise in großem Umfang führerlose Systeme im öffentlichen Nahverkehr betrieben werden und (teil)autonome Kraftfahrzeuge – beginnend mit Lkws und danach Pkws – Systeme mit menschlichen Fahrern substituieren. Die britische Royal Society of Engineers konstatiert einen bereits sehr fortgeschrittenen technologischen Entwicklungsstand, der die Perspektive autonomer Straßenfahrzeuge, mehr noch: von »automated highways«, nicht mehr als Zukunftsmusik erscheinen lässt: »Robotic vehicles are technologically closer than people might think.« (Royal Society 2009, S. 5) Auch wird erwartet, dass Flugzeuge ohne Crew solche mit Besatzung in vergleichbarem Umfang wie im militärischen Bereich ersetzen und als »roboliner« den Verkehr der Zukunft prägen. Auf Zukunftsmärkten wie diesen wird starker Wettbewerb herrschen, und bereits jetzt werden durch FuE, Beschaffung und strategische Ausrichtung der Geschäftsfelder die Weichen für die Zukunft gestellt.

Auch zeichnet sich heute schon ein Übergang zur breiten und umfassenden Diffusion mobiler Systeme ab: der Markt für nichtmilitärische *hoheitliche* Anwendungen. Robotische Systeme für die Zwecke der polizeilichen Gefahrenabwehr, des Brand-, Katastrophen- und Bevölkerungsschutzes, der (wissenschaftlichen) Forschung unter extremen Bedingungen stehen stellvertretend für zivile Nutzungsformen, in denen die technisch bedingten Vorteile unbemannter Systeme zum Tragen kommen, Kostensenkungspotenziale ausschöpfbar, aber auch die ggf. höheren Betriebskosten nachrangig sind. Beispielsweise trifft dies für riskante Einsatzformen zu, wie Beobachtungs- und Überwachungsaufgaben in Bezug auf gefährliche Chemikalien, Großbrände, aktive Vulkane, Wirbelstürme oder Bergungsaktionen unter extremen Wetterbedingungen. Eine Zukunftsperspektive könnte eine hohe Umweltfreundlichkeit unbemannter Systeme sein. Sie müssten dazu im Vergleich zu bemannten Systemen geringeren Verbrauch, weniger Lärmemissionen und weniger Schadstoffe aufgrund der Nutzung alternativer Treibstoffe und Antriebe aufweisen.

Ein entsprechender Innovations- und Diffusionsprozess könnte durchaus durch die öffentliche Hand als Käufer angestoßen und in einer ersten Phase strukturierend werden; Marktöffnung und Wettbewerb wären in der Folge aber erforderlich, nicht zuletzt um Abhängigkeiten von der öffentlichen Hand und eine zu enge Fokussierung der Geschäftsmodelle auf hoheitliche Anwendungen zu vermeiden. Beim Übergang von einem vor allem staatlich geprägten zu einem marktbasierten Innovationsprozess müssten Hersteller nicht nur innovative Pro-

dukte entwickeln und anbieten, die einen Mehrwert im Vergleich mit bemannten Systemen bedeuten, sondern ggf. auch Alternativen zum bloßen Verkauf von Systemen in Betracht ziehen, wie Leasing und umfassende Dienstleistungen (Training, Instandhaltung, Versicherungen) (Papadales 2003, S. 6 f.; Sarris 2001, S. 10). Frost&Sullivan erwarten für das Segment der UAVs, dass sich parallel zu Angebot und Nachfrage von Systemen ein expandierender »UAS support market« entwickeln wird (EC/Frost&Sullivan 2007b, S. 53). Ein stark wachsender ziviler Markt für UMS, insbesondere für UAVs, könnte kostensenkend wirken sowie technologische Fortschritte beschleunigen, die dann auch den Streitkräften zu Verfügung stünden.

Entscheidend für zukünftige Innovations- und Diffusionsprozesse bei den UMS und damit auch für die Generierung von Wertschöpfungsketten und Skaleneffekten in Deutschland wird also sein, ob und in welchem Umfang sich ein globaler Markt für UMS auch über die militärische Sicherheitsvorsorge hinaus konstituieren wird. »Homeland Security« und »Industrial Security« werden vielfach als Wachstumstreiber genannt, aber ob mit UMS wesentliche Segmente und Exportchancen erobert werden können, ist noch offen (dazu auch DFKI/RDE 2008, S. 105).

Diese Frage ist sowohl grundsätzlicher Natur und betrifft die Arbeitsteilung zwischen Politik und Macht als auch handlungspraktisch relevant, insofern über Konzepte und Instrumente entschieden werden müsste. Im Zuge der Beantwortung mehrerer Anfragen aus der Mitte des Deutschen Bundestages in der 16. Legislaturperiode hat sich die damalige Bundesregierung zurückhaltend bezüglich der Bedeutung unbemannter Fahrzeuge und einer proaktiven Rolle der Politik geäußert. Im Einzelnen wurde ausgeführt, dass sie »keinen besonderen wirtschaftlichen und industriepolitischen Stellenwert« unbemannter Systeme erkennen könne sowie keine spezifische Meinung zur weiteren Entwicklung und Bedeutung habe (Bundesregierung 2009b, S. 4). Ebenso sei weder etwas bekannt zu den besonderen Stärken und Defiziten der deutschen Forschung und Industrie noch zu den Voraussetzungen mittelständischer Firmen bei UAVs (Bundesregierung 2009b, S. 5). Angesichts der erwartbaren Bedeutung unbemannter Systeme für neue und expandierende Märkte sowie einer grundlegenden Transformation der produzierenden Wirtschaft (Luftfahrt- und Automobilindustrie) sollte zumindest geprüft werden, ob eine solch defensive Haltung weiterhin angemessen ist. Ein erster Schritt wäre zunächst eine Bestandsaufnahme der Entwicklung sowie der Voraussetzungen, die am Standort Deutschland gegeben sind.

RECHTSETZUNGSBEDARF

Neben ökonomischen und technischen Barrieren steht einer Integration unbemannter Systeme in den zivilen Markt und in den zivilen (bemannten) Verkehr auch eine unbefriedigende Rechtslage entgegen (Kap. V.4.2). Mit den geltenden

verkehrsrechtlichen Vorschriften ist es nicht möglich, das Ziel einer gleichberechtigten Teilnahme bemannter und unbemannter Fahrzeuge in öffentlichen Räumen (sowohl in privater als auch hoheitlicher/militärischer Nutzung) bei gleichem Sicherheitsniveau wie bisher zu erreichen. Insbesondere sind die an bemannten Systemen orientierten Begrifflichkeiten und die daran geknüpften Rechtsfolgen in vielen Rechtsmaterien unbefriedigend und müssen fortentwickelt werden.

Insbesondere bei unbemannten *Luftfahrzeugsystemen* ist der Regelungsbedarf dringlich. Konkreter Handlungsbedarf bestände im Luftrecht, bei den Zulassungsregelungen sowie bei den Verkehrs- und Kollisionsregeln.

Luftfahrzeugsysteme

Das deutsche Luftrecht kennt explizite Regelungen zu unbemannten Flugsystemen nur im Fall von Flugmodellen. Für andere Systeme fehlen Bestimmungen zur Musterzulassung, zum Betrieb und zum Verhalten im Flugraum ebenso wie eine Regelung zur Lizenzpflicht des Personals. Daraus folgt, dass in Deutschland unbemannte Luftfahrzeuge grundsätzlich nicht betrieben werden dürfen (Bundesregierung 2009d, S. 4).

Sowohl das geltende Zulassungsrecht, die Bestimmungen zum Piloten (»Luftfahrer«) als auch die geltenden Regularien zur Verkehrsteilnahme sind langfristig nicht tragfähig. Dies hat auch Auswirkungen auf das militärische Luftrecht, das in Deutschland aus dem zivilen Luftrecht abgeleitet wird. Durch die Änderung der LuftVO vom 18. Januar 2010 wurde zwar einigen dringlichen Sicherheitsproblemen Rechnung getragen, mittel- bis langfristig muss aber eine weiter gehende Lösung erfolgen (die auch seitens der Bundesregierung in der letzten Legislaturperiode angekündigt wurde).

Hierbei drängt es sich auf, durch Regelungen auf gesetzlicher Ebene normenklare Begriffe und die damit verbundenen Rechtsfolgen zu definieren sowie Fragen der Zulassung und der Verkehrsregeln zu klären. Diese beträfen Systeme unter 150 kg – darüber hinaus gelten europarechtliche Bestimmungen. Eine Änderung des LuftVG liegt auch nahe, weil dadurch ein Mindestmaß an Kohärenz bei der untergesetzlichen Rechtsetzung gesichert wäre. Schließlich wäre die Integration von UAVs in den zivilen Luftraum unter Wahrung des gleichen Sicherheitsniveaus eine so weitreichende Maßnahme, dass gemäß dem Prinzip des Parlamentsvorbehalts eine *gesetzliche* Grundlage geschaffen werden sollte (Altmann et al. 2008, S. 253).

Das Luftverkehrsgesetz kennt den Begriff des unbemannten Luftfahrzeugs/Luftfahrzeugsystems nicht. Die Begriffe, an die angeknüpft werden könnte, wären Starr- oder Drehflügler, Flugmodelle sowie »sonstige, für die Benutzung des Luftraums bestimmte Geräte«; diese sind jedoch alle in verschiedener Hin-

sicht für eine klare Regelung weniger gut geeignet (Altmann et al. 2008, S. 236 ff.). Insbesondere werden sie den Spezifika von UAVs, wie die Trennung von Fluggerät und Steuerer sowie der Betrieb außerhalb dessen Sichtweite, nicht gerecht. Deshalb wäre eine Option, eine neue, systemadäquate Kategorie (in Artikel 1 § 1 Abs. 2 LuftVG) einzubringen. Ob die Begrifflichkeit 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 autonome Systeme regelungstechnisch berücksichtigt werden können (Altmann et al. 2008, S. 254).

Hinsichtlich der *Zulassung* der Systeme (Musterzulassung, Verkehrszulassung) stellt sich die Frage, ob einheitliche Zulassungsregelungen angestrebt oder insbesondere nach Gewichtsklassen differenziert werden soll. Da das spezifische Gefährdungspotenzial von UAVs in der Fern- oder autonomen Steuerung außerhalb der Sichtweite des Steuerers begründet ist, spricht einiges für eine einheitliche Zulassungsregelung für alle Klassen solcher Fluggeräte einschließlich des jeweiligen Bodensegments (Altmann et al. 2008, S. 253). Gegebenenfalls könnten *Kleinstgeräte* von einer Genehmigungspflicht freigestellt und nur einer Melde- und Anzeigepflicht unterworfen werden (s. a. Giemulla 2007, S. 204, der eine Senkung der Gewichtsuntergrenze auf 5 kg vorschlägt).

Angesichts der Bedeutung der Aufgaben des mit dem Einsatz von UAVs betrauten Personals bedürfte es eigenständiger Qualifikations- und Zulassungsregelungen, da deutlich andere Fähigkeiten gefordert sind als bei Luftfahrzeugführern. Eine Anpassung der entsprechenden Rechtsgrundlage im Blick auf Ausbildung und Lizenzierung ist in erster Linie eine Frage des innerstaatlichen Rechts. Dabei müssten die Zuständigkeit für Lizenzerteilung ebenso geklärt werden wie die Verantwortung des Steuerers (Giemulla 2007, S. 205 f.).

Die *Verkehrs- und Kollisionsregeln* sind für eine Luftverkehrsteilnahme von UAVs bislang noch nicht hinreichend. Dabei ist zunächst zu prüfen, ob die geltenden Abstandsregelungen auch für UAVs geeignet sind. Es ist aber vor allem zu fragen, ob und inwieweit es angezeigt ist, vom Prinzip des »see and avoid« zu dem des »sense and avoid« überzugehen. Zahlreiche aktuelle Forschungsprojekte und Aktivitäten seitens der Industrie und anderer Akteure dienen dem Ziel, technische Systeme und Verfahren mit den menschlichen Fähigkeiten abzustimmen (Anhang 2 u. 3). Hier sind weitere Fortschritte zu erwarten, die bei einer Neuregelung einzubeziehen wären.

Europarechtlich erfolgt die Zulassung von UAVs ab einer Betriebsmasse von 150 kg nach der Grundverordnung der Europäischen Agentur für Flugsicherheit (EASA) und ist den dort aufgeführten Zulassungskriterien unterworfen. Diese gelten unmittelbar auf nationaler Ebene, da das europäische Gemeinschaftsrecht

im Geltungsbereich der EASA-Grundverordnung Anwendungsvorrang vor nationalem Recht hat (Altmann et al. 2008, S. 239). Ausgenommen sind dabei Systeme in hoheitlicher/militärischer Verwendung, welche infolgedessen den Vorschriften des deutschen Luftverkehrsgesetzes bzw. den einschlägigen Zentralen Dienstvorschriften der Bundeswehr und landespolizeirechtlichen Normen unterfallen (Altmann et al. 2008, S. 241).

Im Blick auf die *völkerrechtlichen Rahmenbedingungen* könnte es von Nutzen sein, sich bei den Bemühungen im Rahmen der ICAO (International Civil Aviation Organization), um die Entwicklung neuer Richtlinien und Empfehlungen aktiv zu engagieren. Deren Bedeutung ist vor dem Hintergrund des globalen zivilen Nutzungspotenzials von UAVs und der Notwendigkeit einheitlicher internationaler Standards nicht zu unterschätzen. Die deutschen und europäischen Präferenzen sollten deshalb in diesen internationalen Prozess aktiv eingebracht werden (Altmann et al. 2008, S. 255).

Bodenfahrzeugsysteme

In Bezug auf unbemannte Bodenfahrzeugsysteme ist die rechtliche Diskussion kaum entwickelt, und es scheint bislang kein Regelungskonzept erkennbar zu sein. Zwar lassen sich UGVs grundsätzlich unter den Begriff Kraftfahrzeuge des Straßenverkehrsgesetzes § 1 Abs. 2 fassen. Altmann et al. (2008, S. 246 ff.) folgend ist aber zu konstatieren, dass hinsichtlich der Zulassung Reformbedarf besteht. So sind beispielsweise nach geltendem deutschem (und europäischem) Recht gegenwärtig für die zivile Nutzung Vollautomaten ebenso unzulässig wie nichtübersteuerbare Fahrerassistenzsysteme.

Hinsichtlich der hoheitlichen Nutzung von Bodenfahrzeugsystemen eröffnet das Straßenverkehrsrecht Möglichkeiten, davon abzuweichen (z. B. § 70 Abs. 4 Straßenverkehrs-Zulassungs-Verordnung u. § 47 Abs. 4 Fahrzeug-Zulassungsverordnung). Dabei sind Ausnahmen dann möglich, wenn es zu Erfüllung hoheitlicher Aufgaben »dringend geboten ist«. Die öffentliche Sicherheit und Ordnung ist gebührend zu berücksichtigen (Altmann et al. 2008, S. 250).

Eine den technologischen Spezifika Rechnung tragende und »verfassungskonforme Risikosteuerung« des Einsatzes unbemannter Bodenfahrzeuge im öffentlichen Verkehrsraum legt es Altmann et al. (2008, S. 256) zufolge nahe, einen eigenständigen definitorischen Rahmen zu schaffen, der dann – ggfs. deutlich getrennt vom übrigen Straßenzulassungsrecht – normativ umzusetzen wäre. Allerdings bietet sich in Anbetracht der potenziellen Einsatzmöglichkeiten eine enge Verzahnung mit dem geltenden Straßenverkehrsrecht an. Dabei ist – vergleichbar den unbemannten Luftfahrzeugsystemen – zu prüfen, inwieweit Anforderungen an die Qualifikation des Steuerers einer eigenständigen Regelung bedürfen (Altmann et al. 2008, S. 255).

Der völkerrechtliche Rahmen – die Wiener Übereinkunft über den Straßenverkehr von 1968 – steht einer Weiterentwicklung des innerstaatlichen wie auch des europäischen Gemeinschaftsrechts mit dem Ziel einer Integration unbemannter Bodenfahrzeugsysteme nicht entgegen. So errichten die Regeln des Wiener Übereinkommens keine Barrieren gegen technische Neuerungen, sondern dienen der Herbeiführung einheitlicher Verkehrsregeln im Interesse der Verkehrssicherheit (Altmann et al. 2008, S. 250).

Eine Integration unbemannter Bodenfahrzeugsysteme in das schon jetzt ausgesprochen komplexe Regelwerk des Straßenverkehrsrechts sollte in jedem Fall behutsam und auf der Basis sorgfältiger rechtswissenschaftlicher Analyse vorgenommen werden (Altmann et al. 2008, S. 256).

Wasserfahrzeugsysteme

Bei den unbemannten Wasserfahrzeugsystemen scheinen auf den ersten Blick die größten Gestaltungsmöglichkeiten für eine systemadäquate Regulierung zu bestehen. Im Vordergrund stehen dabei nach Altmann et al. (2008, S. 256) weniger die fahrzeugtechnischen Zulassungsfragen, vielmehr müssten für die Binnenschifffahrt national wie international die vorhandenen Kollisionsregeln geprüft werden, um Regelungsbedarf zu identifizieren und kompatible Regelungskonzepte zu entwickeln. Gewichtig ist der Regelungsbedarf im Bereich des See- und des Seeschifffahrtsrechts. Hier ist einmal der kompetenzrechtliche Zugang des Seerechtsübereinkommens zu berücksichtigen, das bisher keine spezifischen Regelungen zu unbemannten Seefahrzeugen beinhaltet. Darüber hinaus sind bestimmte technische Einzelheiten des Seeschifffahrtsrechts anzupassen. Insgesamt besteht ein substanzieller Forschungs- und Diskussionsbedarf. Soweit ersichtlich fehlt es in Bezug auf unbemannte Seefahrzeugsysteme aber noch an einer regelungspolitischen Grundsatzdebatte, die sowohl Regelungsziele als auch Regelungsinstrumente erfasst. Eine solche Debatte könnte zunächst auf nationaler Ebene geführt werden.

Letztlich dürfte es in allen Regulierungsbereichen empfehlenswert sein, die Zulassungs- und Überwachungsregeln für die hoheitliche Nutzung transparent zu gestalten. Ein hohes Maß an Abstimmung zwischen den Anforderungen an private und denen an eine hoheitliche Nutzung dürfte nicht nur Akzeptanz stiften, sondern auch ein möglichst hohes Maß an rechtspolitischer und regelungstechnischer Kohärenz sichern (Altmann et al. 2008, S. 256).

RÜSTUNGSKONTROLLE

Die bestehenden Rüstungskontrollverträge setzen der Entwicklung und Einführung konventionell bewaffneter, unbemannter Plattformen keine wirksamen Grenzen (Altmann et al. 2008, S. 218). Angesichts einer offensichtlichen Dynamik bei der Ausrüstung der Streitkräfte mit unbemannten fliegenden Systemen sowie des

Trends zu immer leistungsstärkeren und bewaffneten UAVs wäre zumindest eine rüstungskontrollpolitische Bestandsaufnahme angebracht. Darin sollten Handlungsnotwendigkeiten und Handlungsmöglichkeiten erfasst und bewertet werden, wobei insbesondere die Prüfung eines Verbots von UAVs, die nukleare Sprengköpfe tragen können, eingeschlossen sein sollte. Hierzu und für weitere Aspekte ließe sich an bestehende Regelwerke anknüpfen. Beispielsweise folgt aus der allgemeinen Zweckbestimmung der B- und C-Waffenübereinkommen ein Verbot von unbemannten Plattformen mit Sprüheinrichtungen und Tanks für das Ausbringen bestimmter biologischer oder chemischer Agenzien. Im Rahmen des – gegenwärtig suspendierten – KSE-Vertrags fallen bestimmte UMS unter die mit (allerdings recht hohen) Obergrenzen versehenen Waffensysteme. Eine Multilateralisierung sollte weiter verfolgt werden. Bei den Kategorien des INF-Vertrags steht zurzeit einer potenziellen Einordnung von UAVs unter »bodengestützte Marschflugkörper« deren Definition entgegen. Entsprechenden politischen Willen vorausgesetzt ließen sich aber UAV-Systeme im dort vorgesehenen Reichweitenbereich integrieren. Auch der New-START-Vertrag sieht die Möglichkeit vor, andere Waffensysteme als die augenblicklich erfassten in das Vertragswerk zu integrieren. Die Vereinbarungen über Maßnahmen, die durch Berichtspflichten zu Waffensystemen mehr Transparenz und Vertrauen schaffen sollen (wie das Wiener Dokument oder das UN-Waffenregister), bieten die Möglichkeit, unbemannte Systeme aufzunehmen.

Wegen der besonderen Sicherheitslage in Südasien, Südostasien und im Mittleren Osten ist nicht auszuschließen, dass sich das Wettrüsten zwischen Indien und Pakistan sowie zwischen Israel und einzelnen Nachbarstaaten, wie jetzt bei Cruise Missiles, zukünftig auch auf unbemannte Plattformen erstrecken wird. Indien und Pakistan beispielsweise importieren bereits jetzt erhebliche Stückzahlen unbemannter Systeme (Kap. V). Die Einbeziehung von Marschflugkörpern und UAVs in regionale Rüstungskontrollabkommen sollte deshalb angestrebt werden. Für den Fall, dass im Mittleren Osten eine Zone eingeführt werden sollte, die frei von MVW ist, sollten neben den klassischen Trägersystemen wie Raketen und Bombern auch Marschflugkörper und bestimmte Typen von UAVs einbezogen werden (Altmann et al. 2008, S. 220).

(KRISEN-)STABILITÄT UND VERTRAUENSBILDENDE MASSNAHMEN

UAVs sind aufgrund ihrer Flugeigenschaften und geringen Signatur sowie – bei bestimmten Systemen – eines kaum zu lokalisierenden Startorts schwer zu entdecken, zu identifizieren und zu bekämpfen. Ihr Einsatz beinhaltet zudem geringere Risiken bezüglich eines möglichen Gegenschlags. Die Möglichkeit, dass solche Systeme zu weitreichenden Schlägen einsetzbar sind, kann durchaus als eine Gefährdung der Zweitschlagsfähigkeit wahrgenommen werden. Da bestimmte UAVs mit konventionellen ebenso wie mit Massenvernichtungswaffen bestückbar sind, können sie in einer Krise destabilisierend oder in einem Krieg eskalie-

rend wirken, da ein Verteidiger im Angriffsfalle nicht weiß, ob eine unbemannte Plattform bewaffnet bzw. mit MVW bestückt ist (Altmann et al. 2008, S. 220).

UCAVs bilden in einer Krise zwischen mehr oder weniger ebenbürtigen Gegnern zwar nur eine Komponente. Sie könnten aber Auslöser für den Übergang in eine intensive militärische Auseinandersetzung sein, da sie zunächst, ohne das Leben der Soldaten zu riskieren, gegen wichtige Ziele im Rahmen eines Überraschungsschlages eingesetzt werden könnten (Altmann et al. 2008, S. 221). In diesem Zusammenhang wird argumentiert, dass die Nutzung von UMS die Schwelle zum Einsatz von Waffengewalt absenkt (Sparrow 2009a, S. 26). Aber selbst Unfälle oder technisches Versagen von UMS sowie die Ungewissheit über das Verhalten des Kontrahenten könnten krisenhafte Situationen heraufbeschwören.

Geeignete vertrauensbildende und kooperative Maßnahmen insbesondere der Nuklearmächte könnten helfen, die Risiken eines Kriegs aus Zufall und in der Folge dynamischer Eskalation sowie eine Intensivierung des Wettrüstens zu verhindern.

RÜSTUNGSEXPORTKONTROLLE

Längerfristig werden zunehmend mehr Nationen UAVs in größeren Stückzahlen in ihre Streitkräfte integrieren. Auch die verstärkte Einführung von UGS und UUVs ist angekündigt und angesichts fortschreitender Technologiedynamik wahrscheinlich. Auf globalen Märkten werden Technologien und Systeme weitgehend unreguliert zur Verfügung stehen und auch substaatlichen Gruppierungen Möglichkeiten eröffnen, UMS als eine Option zu nutzen. Ein terroristischer Einsatz von größeren UAVs würde – verglichen mit bisherigen Anschlagsszenarien – nur in seltenen Fällen eindeutige Vorteile bieten, vielmehr kann oftmals die Wirkung mit anderen Angriffs- und Ausbringungsmethoden einfacher erzielt werden. Spezifische Vorteile bieten aber unbemannte Kleinflugzeuge (Altmann et al. 2008, S. 222). Durch Angriffe mit Kleinst-UAVs gegen Einzelpersonen könnten Sprengstoff oder Gift in unmittelbare Nähe der Zielperson gebracht oder diese direkt angeflogen werden. Für einen solchen Angriff ist keine Infrastruktur für den Abschuss nötig, sondern lediglich das Kleinluftfahrzeug und ein Funkempfänger/-sender.[124] Entwicklungen wie diese sollten intensiver als bislang kritisch reflektiert und politisch bearbeitet werden (z. B. Sparrow 2009a, S. 27).

Mit dem MTCR steht ein im Grundsatz geeignetes Nonproliferationsinstrument für UAV-Systeme und moderne UMS-Technologien zu Verfügung. Angesichts der technologischen Weiterentwicklung und der immer weiteren Verbreitung

124 Altmann et al. (2008, S. 222) regen deshalb an, das Lizenzierungsverfahren zu überprüfen und ggf. zu verschärfen. Es müsste aber auch das Bewusstsein für den Missbrauch von Flugsystemen bei den Produzenten und Nutzerkreisen (Modellflugzeuge, Flugschulen, Hobbypiloten) gestärkt werden.

sollten entsprechende UCAV-Technologien integriert werden. Gleiches gilt für das Wassenaar-Abkommen. Auch in den Hague Code of Conduct ließen sich Marschflugkörper und UAVs einbeziehen. Informationen zu UMS könnten in einem zu gründenden internationalen Datenzentrum gesammelt und den Mitgliedstaaten im Rahmen des HCOC zur Verfügung gestellt werden (Altmann et al. 2008, S. 218).

HUMANITÄRES VÖLKERRECHT UND ETHISCHER DISKURS

Der Einsatz von UMS erhöht insofern den Schutz der eigenen Soldaten bei Kampfhandlungen, als der direkte Kontakt mit den gegnerischen Streitkräften vermieden werden kann.[125] So sind typischerweise besonders riskante Einsätze wie Aufklärung und Überwachung eines gutgeschützten Gebiets, zur Bekämpfung feindlicher Luftabwehr oder zur Aufklärung und Räumung von Minen nicht nur ethisch gerechtfertigt, sondern auch geboten (z. B. Sparrow 2009b). Dabei ist ein Einsatz von UMS dann nicht zu beanstanden, wenn die jeweiligen Anforderungen des Humanitären Völkerrechts, wie sie sich insbesondere aus den Artikeln 51 ff. ZP I ergeben, beachtet und vorsorgliche Maßnahmen, die ihre Einhaltung sichern, ergriffen werden (Altmann et al. 2008, S. 190, s. a. Kap. VI).

Im Blick auf die Regeln des Humanitären Völkerrechts ergibt sich aber dennoch die Frage, ob bezüglich des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt Reform- und Regelungsbedarf besteht. Zwar sind unbemannte Systeme als solche nicht explizit von den einschlägigen Bestimmungen des Kriegsvölkerrechts erfasst und müssen durch Interpretation zugeordnet werden. Daraus folgt nach Altmann et al. (2008, S. 196) aber nicht, dass auch Bedarf an einer Neuregelung besteht. Dieser dürfte wohl nur dann zu bejahen sein, wenn sich neuartige, spezifische Gefährdungen identifizieren lassen, die mithilfe des vorhandenen Instrumentariums nicht befriedigend zu bewältigen sind. Sollten zukünftig unbemannte Systeme Gegenstand eines noch zu vereinbarenden Rüstungskontrollregimes werden, »wäre es angezeigt, darin auch deren Einsatz im bewaffneten Konflikt in dieser Hinsicht 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 worden« (Altmann et al. 2008, S. 196).

Auf der Grundlage der Ausführungen zum Humanitären Völkerrecht (Kap. VI.2) lässt sich folgender Diskussions- und Prüfungsbedarf festhalten (zum Folgenden v. a. Altmann et al. 2008, S. 198 f.).

125 Einsatzerfahrungen zeigen aber auch, dass die Nutzung hochtechnischer Aufklärungssysteme problematische Folgen haben kann: Der Schutzgedanke beim Einsatz unbemannter Systeme wird durch Tendenzen konterkariert, verunfallte oder abgeschossene fliegende Systeme durch im Zuge eines häufig riskanten Einsatzes von Truppen zu bergen (Sparrow 2009b, S. 5).

Wahrnehmung der Prüfungspflicht gemäß Artikel 36 ZP I

Angesichts der erwartbaren wachsenden Bedeutung unbemannter Systeme für die Bundeswehr sollten die begonnenen Überlegungen zu ihrer zukünftigen Rolle intensiviert werden und ggf. in einer umfassenden Prüfung der Verträglichkeit des Einsatzes von UMS mit dem geltenden Humanitären Völkerrecht münden.

Hierbei wäre insbesondere die zu erwartende Ausdifferenzierung von UCAV-Missionen (»hunter killer«, als Waffenträger für weitreichende Schläge, Mikrodrohne als Waffe/als Waffenträger) zu bedenken. Dabei wäre beispielsweise zu beachten, dass bewaffnete UAVs zukünftig nicht nur als Waffenplattform, sondern – durch eine Beladung mit (intelligenter) Submunition – als Waffensystem zum Einsatz kommen werden. Diese Wirkmittel können über dem Zielgebiet verbleiben, Ziele detektieren und selbstständig agieren. Eine der zentralen Fragen wird sein, ob auch solche Systeme legitime Ziele erkennen bzw. Zivilisten von Kombattanten unterscheiden können.

Erwägung möglicher völkerrechtlicher Normierungen

Angesichts der Relevanz des Einsatzes von UMS im bewaffneten Konflikt für das geltende Humanitäre Völkerrecht wäre auf internationaler Ebene eine explizite völkerrechtliche Normierung zumindest zu prüfen. Entsprechende Regelungen würden 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 kaum möglich erscheint, wäre Altmann et al. (2008, S. 199) zufolge ein dem San Remo Manual für die Seekriegsführung vergleichbares Regelwerk eine Option. Auf dem Weg dorthin wären u. a. folgende Aspekte zu erörtern und fallweise eine Klärung herbeizuführen.

- Es sollte geprüft werden, ob unter Rückgriff auf die Artikel 43 und 44 ZP I eine Pflicht zum Führen von Nationalitätszeichen begründet werden sollte (Altmann et al. 2008, S. 186).
- Beim Einsatz von UMS für Aufklärungszwecke sind spezifische Vorsichtsmaßnahmen im Hinblick auf mögliches technisches Versagen zu erwägen. Dabei käme der verpflichtende Einbau von Selbstzerstörungsmechanismen infrage.
- Werden UMS mit Waffen bestückt und zur Bekämpfung von Zielen eingesetzt, sollten spezifische Anforderungen in Bezug auf die Eingriffsmöglichkeiten des Steuerers diskutiert werden. Falls derartige Interventionsmöglichkeiten versagen, könnte ein Selbstzerstörungsmechanismus verpflichtend vorgesehen werden. Auch bietet sich das Verbot einer automatisierten Angriffsfunktion als Option an (Gulam/Lee 2006, S. 132).
- Im Hinblick auf den Status der Bodenkontrollstation könnte festgehalten werden, dass diese von zivilen Objekten unterscheidbar sein muss und sich nicht in der Nähe ziviler Objekte befinden darf.

- Verhandelt werden könnte auch ein Verbot vollständig autonomer bewaffneter Systeme, soweit und solange es nicht möglich ist, den notwendigen Anforderungen im Hinblick auf Zielerfassung und aller gebotenen Vorsichtsmaßnahmen (insbesondere zum Schutz von Zivilpersonen) in gleicher Weise Rechnung zu tragen wie bei nichtautonomen Systemen.

Ethischer Diskurs

Die Möglichkeit, dass autonome Systeme – z. B. mit fortgeschrittener Freund-Feind-Erkennungssoftware in Kombination mit weiteren technologischen Komponenten – Entscheidungen treffen könnten, die sowohl sachlich zutreffender als auch in ihren Folgen moralisch akzeptabler wären, wie es einer Person möglich wäre, dürfte in den nächsten zwei Jahrzehnten wohl eher nicht realisierbar sein. Gleichwohl ist offenkundig, dass technologische Trends ebenso wie politische und militärische Konzepte die Richtung vorgeben: die Depersonalisierung des Schlachtfelds. Diese Entwicklung ist gewollt, »the concept of keeping humans in the loop is already being eroded by policymakers and by the technology itself, both of which are rapidly moving towards pushing humans out« (Singer 2009, S. 16; s. a. Sparrow 2007). Deshalb sind mit dieser Perspektive sehr grundsätzliche Fragen von technischen Systemen als »moralisch Handelnde« (Quintana o. J., S. 15) im bewaffneten Konflikt neu aufgeworfen und wären ggf. anders als bislang zu beantworten. Vergleichbare Fragen legalen und moralischen Handelns werden sich zukünftig auch in nichtmilitärischen Zusammenhängen (wie der polizeilichen Nutzung) stellen.

Folgerichtig sollte die hierüber punktuell begonnene Diskussion weiter geführt werden, um das Bewusstsein für diese elementaren Fragen bei allen Beteiligten zu schärfen (hierzu beispielsweise Altmann 2011; Asaro 2007 u. 2008; Bernhard 2008; Dawkins 2005; Gulam/Lee 2006; Sharkey 2009; Sparrow 2009a u. b). In einem offenen Diskurs könnten politisch Verantwortliche, Führungskräfte der Streitkräfte und Vertreter der Wissenschaft (als Forschende und Lehrende) ihre unterschiedlichen Perspektiven einbringen und ihre Rollen reflektieren.

LITERATURVERZEICHNIS

IN AUFTRAG GEGEBENE GUTACHTEN 1.

Altmann et al. (2008): Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung von unbemannten Systemen. September. Universität Dortmund, Lehrstuhl Experimentelle Physik III, Universität Hamburg, Institut für Friedensforschung und Sicherheitspolitik, Universität Gießen, Lehrstuhl für Öffentliches Recht, Völkerrecht und Europarecht, Dortmund u. a. O.

DFKI/RDE (Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) GmbH, Rheinmetall Defence Electronics GmbH) (2008): Stand und Perspektiven von Forschung und Entwicklung bei den kritischen Technologiefeldern unbemannter Systeme. Bremen

FGAN-FKIE (Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften e.V., Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie) (2008): Sicherheitspolitische und militärische Konzepte und ihre Relevanz für unbemannte Systeme. Wachtberg

WEITERE LITERATUR 2.

Aarts, E., de Ruyter, B. (2009): New research perspectives on Ambient Intelligence. In: Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments 1, S. 5–14, Amsterdam www.iospress.metapress.com/content/w607w130570776mx/fulltext.pdf (8.12.2010)

ADSE (ADSE Consulting and Engineering) (2008): Presentation of ADSE UCAV Study at UAV DACH meeting, Hoofddorp. Februar 2008, Anlage 15

AIAA (American Institute of Aeronautics & Astronautics) (2006): The Versatile Affordable Advanced Turbine Engines (VAATE) Initiative – An AIAA Position Paper. Reston www.aiaa.org/Participate/Uploads/VAATE.pdf (8.12.2010)

Albiez, J., Giesler, B., Lellmann, J., Zöllner, J.M., Dillman, R. (2006): Virtual Immersion for Tele-Controlling a Hexapod Robot. In: Tokhi, M.O., Virk, G.S., Hossain, M.A. (eds.): Climbing and Walking Robots. Proceedings of the 8th International Conference on Climbing and Walking Robots (CLAWAR), 2005, London u. a. O., S. 1087–1094

Almond, P. (2009): Manning unmanned air vehicles: Fighter pilots or geeks? In: RUSI Defence Systems 12 (1), S. 79–82

Altmann, J. (2001): Military Uses of Microsystem Technologies – Dangers and Preventive Arms Control. Münster

Altmann, J. (2006): Military Nanotechnology. Potential Applications and Preventive Arms Control. New York

Altmann, J. (2011): Rüstungskontrolle für Roboter. In: Wissenschaft und Frieden Heft 1, S. 30–33

Anderson, K. (2010a): Statement. Hearing On Rise Of The Drones II: Examining The Legality Of Unmanned Targeting. United States House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

Anderson, K. (2010b): Written Testimony. Subcommittee Hearing: Rise of the Drones: Unmanned Systems and the Future of War. United State House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

AP (Associated Press) (2008): Rise of the Machines: UAV Use Soars. www.military.com/NewsContent/0,13319,159220,00.html (29.3.2011)

ARCIC/TARDEC (2009): Robotics Strategy White Paper. www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?AD=ADA496734&Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf (29.3.2011)

Arndt, F. (2010): Aktueller Begriff. Zur völkerrechtlichen Kategorisierung von Konflikten. www.bundestag.de/dokumente/analysen/2010/Kategorisierung_von_Konflikten.pdf (29.3.2011)

Asama, H., Kurokawa, H., Ota. J., Sekiyama, K. (Hg.) (2009): Distributed Autonomous Robotic Systems 8. Berlin/Heidelberg

Asaro, P.M. (2007): Robots and Responsibility from a Legal Perspective. www.peterasaro.org/writing/ASARO%20Legal%20Perspective.pdf (29.3.2011)

Asaro, P.M. (2008): How Just Could a Robot War be? www.peterasaro.org/writing/Asaro%20Just%20Robot%20War.pdf (29.3.2011)

Atlas Maridan (2009): SeaOtter Mk II – Features of the Underwater Vehicle. www.maridan.atlas-elektronik.com/index.php?id=1560 (21.01.10)

Barret, E. (2010): Statement. Hearing on Rise of the Drones II: Unmanned Systems and the Future of War. United State House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

Base Ten (Base Ten Systems Electronics GmbH) (2009): Technologie für die Robotik. www. btse.de/deu/c_robotik.html (29.3.2011)

Bausback, W. (2005): Terrorismusabwehr durch gezielte Tötungen? In: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 24, S. 418–420

Beck, J. (2009): For tomorrow's military fleets, drivers are optional. In: RUSI Defence Systems 12 (1), S. 92–94

Berglund, E., Kolev, Z. (2009): The Potential of UAS for European Border Surveillance. In: UAS Yearbook – UAS: The Global Perspective. S. 45–46 www.uvs-international. org/uvs-info/Yearbook2009/045-046_Contributing-Stakeholder_FRONTEX.pdf (8.12.2010)

Bernhard, W.L. (2008): Autonomous Unmanned Systems and Impacts to Moral Decision-Making in Future Warfare. Maxwell Air Force Base, https://www.afresearch.org/skins/rims/q_mod_be0e99f3-fc56-4ccb-8dfe-670c0822a153/q_act_downloadpaper/q_obj_1482ced1-a983-49f1-b1fa-3bfaf449d3fc/display.aspx?rs=enginespage (29.3.2011)

BMVg (Bundesministerium der Verteidigung) (2007): Bundeswehrplan 2008. o. O., o. J.

BMVg (2008): Bundeswehrplan 2009. o. O., o. J.

BMVg (2009): Bundeswehrplan 2010. o. O., o. J.

Boeing (2006): Long-term Mine Reconnaissance System Backgrounder. www.boeing.com/defense-space/infoelect/lmrs/docs/LMRS_overview.pdf (26.01.10)

Bolkcom, C., Nuñez-Neto, B. (2006): Homeland Security: Unmanned Aerial Vehicles and Border Surveillance. CRS Report for Congress, Updated November 17, 2006, RS21698, www.ilw.com/immigrationdaily/news/2007,1101-crs.pdf (29.3.2011)

Brewer, D. (2008): UCAVs or Cruise Missiles? In: RUSI Defence Systems 11(2), S. 90–92

Brinkmann, R. (2007): Allgemein – Unbemannte Systeme – die neuen »Dreadnoughts«? Ein Unmanned Aerial Vehicle im maritimen Fähigkeitsspektrum. www.globaldefence.net/waffensysteme/luftsysteme/unbemannte_systeme_die_neuen_dreadnoughts_1887_29.html (29.3.2011)

Buciak, S. (2008): Allgemein – U(C)AV – Waffensystem der Zukunft. www.globaldefence.net/waffensysteme/luftsysteme/2189-allgemein-ucav-waffensystem-der-zukunft. html (29.3.2011)

Bundesregierung (2009a): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Birgit Homburger ... und der Fraktion der FDP – Drucksache 16/11473 – Stand der Einführung Unbemannter Luftfahrzeuge (Unmanned Aerial Vehicles) in die Bundeswehr. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/11620, Berlin

Bundesregierung (2009b): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Alexander Bonde ... und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 16/12192 – Einführung und Bedeutung ziviler unbemannter Fahrzeuge. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/12404, Berlin

Bundesregierung (2009c): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Alexander Bonde ... und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache16/12193 – Einführung und Bedeutung unbemannter militärischer Fahrzeuge und Luftfahrzeuge. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/12481, Berlin

Bundesregierung (2009d): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Paul Schäfer ... und der Fraktion DIE LINKE – Drucksache16/13341 – Nutzung des deutschen Luftraums durch Drohnen. Deutscher Bundestag, Drucksache 16/13609, Berlin

Bundesregierung (2010a): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Jan Korte ... und der Fraktion DIE LINKE – Drucksache 17/636 – Einsatz von Drohnen zur Videoüberwachung deutscher Städte und Regionen. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/765, Berlin

Bundesregierung (2010b): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Paul Schäfer (Köln) ... und der Fraktion DIE LINKE. – Drucksache 17/1713 – Kosten der militärischen Intervention in Afghanistan. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/2026, Berlin

Bundesregierung (2010c): Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Paul Schäfer (Köln) ... und der Fraktion DIE LINKE. – Drucksache 17/1713 – Kosten der militärischen Intervention in Afghanistan. Deutscher Bundestag, Drucksache 17/2026 (neu), Berlin

Business Wire (2009): AMSC and Northrop Grumman Announce Successful Load Testing of 36.5 Megawatt Superconductor Ship Propulsion Motor. Pressemeldung vom 13. Januar 2009, www.businesswire.com/portal/site/home/permalink/?ndmViewId=news_view&newsId=20090113005166&newsLang=en (29.3.2011)

Butcher, D.R. (2006): Unmanned Vehicles Earning Their Stripes: Ground, Air, Sea. http://news.thomasnet.com/IMT/archives/2006/05/unmanned_vehicles_redefining_warfare_ground_air_sea.html?t=archive (29.3.2011)

Chan, C.K., Peng, H., Liu, G., McIlwrath, K., Zhang, X.F., Huggins, R.A., Cui. Y. (2008): High-performance Lithium Battery Anodes Using Silicon Nanowires. In: Nature Nanotechnology 3, S. 31–35

Clarke, V. (2009): Light UAS: Potential Police Applications. In: van Blyenburgh 2009, S. 130–131

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. In: 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 https://research.maxwell.af.mil/papers/ay2005/saas/Dawkins.pdf (8.12.2010)

De Vriend, H. (2006): Constructing Life – Early social reflections on the emerging field of synthetic biology. Working Document 97, Rathenau Instiute, The Haag www.synbiosafe.eu/uploads/pdf/Rathenau Constructing Life 2006.pdf (29.3.2011)

Dean, S.E. (2004): Unmanned Underwater Vehicles der U.S.-Navy – Sachstand und Tendenzen. In: MarineForum Heft 3, S. 4–17

Dean, S.E. (2008): Unbemannte Überwasserfahrzeuge. Fahrplan der U.S.-Navy im Gesamtspektrum der Seekriegsführung. In: MarineForum Heft 5, S. 25–28

Defence IQ Press (2010): Europe's Talarion UAV Programme. www.defenceiq.com/air/articles/europe-s-talarion-uav-programme/ (29.3.2011)

Deutsches Heer (2009a): Aufklärungsdrohne ALADIN. www.deutschesheer.de/portal/a/heer/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBK9xJzElMw8_YJsR0UAMIZV8g!!/ (6.4.2011)

Deutsches Heer (2009b): Kleinfluggerät für Zielortung (KZO). www.deutschesheer.de/portal/a/heer/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBK97Kp8_YJsR0UAzD2Fiw!!/ (6.4.2011)

Deutsches Heer (2009c): Nahaufklärungs-Ausstattung LUNA. www.deutschesheer.de/portal/a/heer/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr2S1OSMvMxsvZzStBIgkZeoX5DtqAgArcsqTw!!/ (6.4.2011)

Deutsches Heer (2009d): Sonderthemen. www.deutschesheer.de/portal/a/heer/!ut/p/c4/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP3I5EyrpHK9jNTUIr3E7JLS1JwcveL8vJTUopKM1NzUPP2CbEdFAAAqL1Q!/ (6.4.2011)

DGLR (Deutsche Gesellschaft für Luft- und Raumfahrt) (2008): S3.1 Unmanned Aerial Vehicles (UAV). www.s3.dglr.de/s31_unmanned_aerial_vehicles_uav/index.html (29.3.2011)

DoD (Department of Defense) (2001): Quadrennial Defense Review Report. Washington, DC

DoD (2005): Unmanned Aircraft Systems Road-map 2005–2030. Washington, DC www.fas.org/irp/program/collect/uav_roadmap 2005.pdf (29.3.2011)

DoD (2006a): Quadrennial Defense Review Report. Washington, DC

DoD (2006b): Report to Congress – Development and Utilization of Robotics and Unmanned Ground Vehicles. Office of the Under Secretary of Defense, Acquisition, Technology and Logistics, Portfolio Systems Acquisition, Land Warfare and Munitions, Joint Ground Robotics Enterprise, www.ndia.org/Divisions/Divisions/Robotics/Documents/Content/ContentGroups/Divisions1/Robotics/JGRE_UGV_FY06_Congressional_Report.pdf (29.3.2011)

DoD (2007): Unmanned Systems Roadmap 2007–2032. Washington, DC

DoD (2009): Unmanned Systems Integrated Roadmap 2009–2034. Washington, DC

DoD (2010a): Quadrennial Defense Review Report. Washington, DC

DoD (2010b): U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap 2010–2035. Eyes of the Army. www.-rucker.army.mil/usaace/uas/US%20Army%20UAS%20RoadMap%202010%202035.pdf (29.3.2011)

DoN (Department of the Navy) (2004): The Navy Unmanned Undersea Vehicle (UUV) Master Plan. Washington, DC

DoN (2007): The Navy Unmanned Surface Vehicle (USV) Master Plan. Washington, DC

Donnithorne-Tait, D. (2005): Exploiting Unmanned Systems. In: RUSI Defence Systems 8(1), S. 76–79

Donnithorne-Tait, D. (2010): Commercialising robotic and unmanned systems. In: RUSI Defence Systems 13(1), S. 68–70

Doswald-Beck, L. (ed.) (1995): San Remo Manual on International Law Applicable to Armed Conflicts at Sea. Cambridge

EADS (2009a): www.eads.com/eads/germany/de/news/press.2002cc7a-e96c-45a6-b17d-2234cf517992.3d7b1259-b415-4264-ab4a-df571a8a9cc2.html?queryStr=barracuda&pid=1 (6.4.2011)

EADS (2009b): www.eads.eu/1024/de/businet/defence/mas/uav/agile.html (20.1.09)

EC (European Commission) (2004): Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies. A Report from the High Level Expert Group on »Foresighting the New Technology Wave«. Brussels

EC (European Commission) (2009): Hearing on light Unmanned Aircraft Systems (UAS). Brussels ec.europa.eu/transport/air/doc/2009_10_08_hearing_uas.pdf (29.3.2011)

EC/Frost&Sullivan (2007a): Study Analysing the Current Activities in the Field of UAV. First Element: Status. Brussels ec.europa.eu/enterprise/policies/security/files/uav_study_element_1._en.pdf (29.3.2011)

EC/Frost&Sullivan (2007b): Study Analysing the Current Activities in the Field of UAV. Second Element: Way Forward. Brussels ec.europa.eu/enterprise/policies/security/files/uav_study_element_2_en.pdf (29.3.2011)

Eich, M., Grimminger, F., Bosse, S., Spenneberg, D., Kirchner, F. (2008): ASGUARD: A Hybrid Legged Wheel Security and SAR-Robot Using Bio-Inspired Locomotion for Rough Terrain. In: Proceedings of the IARP/EURON Workshop on Robotics for Risky Interventions and Environmental Surveillance. Benicassim

EMT (Ingenieurgesellschaft Dipl.-Ing. Hartmut Euer GmbH) (2009a): ALADIN. www.emt-penzberg.de/fileadmin/download/ALADIN_de.pdf (29.3.2011)

EMT (2009b): LUNA. www.emt-penzberg.de/fileadmin/download/LUNA_de.pdf (29.3.2011)

EU-Kommission (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

Eurocontrol (2008): UAV-OAT Task Force. www.eurocontrol.int/mil/public/standard_page/uavtf.html (29.3.2011)

Europäische Sicherheit (2009): Erster Euro Hawk präsentiert. www.europaeische-sicherheit.de/Ausgaben/2009/2009_11/Umschau/2009,11,umschau.html#nav06 (29.3.2011)

Feickert, A. (2005): Cruise Missile Proliferation. Updated July 28, 2005, CRS Report for Congress, www.fas.org/sgp/crs/nuke/RS21252.pdf (29.3.2011)

Forecast International (2006): Unmanned Vehicles Forecast. https://www.forecastinternational.com/fistore/prod.cfm?ProductID=10

Franklin, M. (2008a): Unmanned Combat Air Vehicles: Opportunities for the Guided Weapons Industry? RUSI Occasional Paper, www.rusi.org/downloads/assets/Unmanned_Combat_Air_Vehicles.pdf (29.3.2011)

Franklin, M (2008b): Future Weapons for Unmanned Combat Air Vehicles. In: RUSI Defence Systems 11(2), S. 93–96

Friedl, A. (2008): Applications of UAS in police service. Presentation at UAV DACH Conference at ILA 2008, Berlin-Schönefeld, 30 May 2008 www.uavdach.org/Dokumente/content/ILA/14__Friedl_Applic-Pol-ILA08.pdf (8.6.2010)

Friedman, N. (2010): UCAVs: A new kind of air power? In: RUSI Defence Systems 13(1), S. 62–64

Frost&Sullivan (1998): World Markets for Military, Civil and Commercial Unmanned Aerial Vehicles. London

GAO (General Accountability Office) (2008): Unmanned Aircraft Systems. Additional Actions Needed to Improve Management and Integration of DOD Efforts to Support Warfighter Needs. Report to the Subcommittee on Air and Land Forces, Committee on Armed Services, House of Representatives, www.gao.gov/new.items/d09175.pdf (29.3.2011)

GAO (2009a): Defense Acquisitions – Decisions Needed to Shape Army's Combat Systems for the Future. Report to Congressional Committees, www.gao.gov/new.items/d09288.pdf (29.3.2011)

GAO (2009b): Defense Acquisitions – Key Considerations for Planning Future Army Combat Systems. Testimony Before the Subcommittee on Air and Land Forces, Committee on Armed Services, House of Representatives, www.gao.gov/new.items/d09410t.pdf (29.3.2011)

GAO (2009c): Defense Acquisitions – Opportunities Exist to Achieve Greater Commonality and Efficiencies among Unmanned Aircraft Systems. Report to the Subcommittee on Air and Land Forces, Committee on Armed Services, House of Representatives, www.gao.gov/new.items/d09520.pdf (29.3.2011)

GAO (2010): Defence Acquisitions. DoD Could Achieve Greater Commonality and Efficiencies among Its Unmanned Aircraft Systems. Testimony Before the Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Committee on Oversight and Government Reform, House of Representatives, www.gao.gov/new.items/d10508t.pdf (29.3.2011)

Gasser, H.P. (2008): Humanitäres Völkerrecht – Eine Einführung. Baden-Baden/Zürich

Geer, H., Bolkcom, C. (2005): Unmanned Aerial Vehicles: Background and Issues for Congress. CRS Report for Congress, Updated November 21, 2005, RL31872 http://digital.library.unt.edu/ark:/67531/metacrs8638/m1/1/high_res_d/RL31872_2005Nov21.pdf (29.3.2011)

Gemeinsame Erklärung (2007): Gemeinsame Erklärung des Bundesministeriums der Verteidigung und des Ausschusses Verteidigungswirtschaft im Bundesverband der Deutschen Industrie e.V. zu Nationalen Wehrtechnischen Kernfähigkeiten. Berlin

Giemulla, E. (2007): Unbemannte Luftfahrzeugsysteme – Probleme ihrer Einfügung in das zivile und militärische Luftrecht. In: Zeitschrift für Luft- und Weltraumrecht 56, S. 195–210

Glazier, D.W. (2010): Statement. Hearing on Rise of the Drones II: Unmanned Systems and the Future of War. United State House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

Gormley, D.M. (2003): Missile Defence Myopia: Lessons from the Iraq War. In: Survival 45 (4), S. 61–86

Gormley, D.M. (2004): Addressing the Spread of Cruise Missiles and Unmanned Air Vehicles (UAVs). NTI Issue Brief, www.nti.org/e_research/e3_39a.html (29.3.2011)

Gormley, D.M. (2005): Unmanned Air Vehicles as Terror Weapons: Real or Imagined? NTI Issue Brief, www.nti.org/e_research/e3_68a.html (29.3.2011)

Gormley, D.M. (2009): Making the Hague Code of Conduct Relevant. NTI Issue Brief, www.nti.org/e_research/e3_hague_conduct_relevant.html (8.12.2010)

Gormley, D.M, Speier, R. (2003): Controlling Unmanned Air Vehicles: New Challenges. In: The Nonproliferation Review 10(2), S. 1–14

Green, M.D, Scussel, K.F. (2007): Underwater Geopositioning Methods and Apparatus. United States Patent Application No 20070025185. www.freepatentsonline.com/20070025185.pdf (29.3.2011)

Grüne, M., Kernchen, R., Kohlhoff, J., Kretschmer, T., Neupert, U., Notthoff, C., Reschke, S., Ruhlig, K., Wessel, H., Zach, H.-G. (2006): Grundlagen und militärische Anwendungen der Nanotechnologie. Frankfurt a.M./Bonn

Gulam, H., Lee, S.W. (2006): Uninhabited Combat Aerial Vehicles And the Law of Armed Conflict. In: Australian Army Journal 3 (2). S. 1–14

Haddal, C. C., Gertler, J. (2010): Homeland Security: Unmanned Aerial Vehicles and Border Surveillance. CRS Report for Congress, RS21698, www.fas.org/sgp/crs/homesec/RS21698.pdf (29.3.2011)

Hays Parks, W. (2006): Means and Methods of Warfare. In: The George Washington International Law Review 38, S. 511–539

Hayward, K. (2010): UCAVs: Unmanned aerial systems: a challenge to European industry? In: RUSI Defence Systems 13 (1), S. 65–67

heise online (2008a): Frei-Parken: Volkswagen präsentiert Park Assist Vision. www.heise.de/autos/artikel/Frei-Parken-Volkswagen-praesentiert-Park-Assist-Vision-449087.html (29.3.2011)

heise online (2008b): IDF: Moore's Law bis 2029. www.heise.de/newsticker/meldung/IDF-Moore-s-Law-bis-2029-194902.html (29.3.2011)

heise online (2010): Elrob 2010: Roboter-Aufklärung. www.heise.de/newsticker/meldung/Elrob-2010-Die-Besten-fuhren-ausser-Konkurrenz-1004732.html; (5.4.2011)

Henckaerts, J.-M., Doswald-Beck, L. (eds.) (2005): Customary International Humanitarian Law. Cambridge

Hesse, A. (2010): Bodengebundene unbemannte Systeme. In: Strategie & Technik Heft 4, S. 14–17

Hodges, J. (2009): Revolution Is Waiting – Commercial work trumps military in evolution of unmanned undersea vehicles. In: UVS International: UVS News Flash Issue 2009/13, S. 9, www.uvs-international.org/pdfs/flashnews/UVS-News-Flash_Edition-2009-13_090815.pdf (26.1.2010)

Hohmann, J. (2010): Deutschland – Gecko – Unbemanntes Landfahrzeug/Unmanned Ground Vehicle (UGV). www.globaldefence.net/waffensysteme/landsysteme/15411-deutschland-gecko-unbemanntes-landfahrzeugunmanned-ground-vehicle.ugv.html (29.3.2011)

Horizon Energy Systems (2010): Aeropak – Enabling the highest Endurance All-Electric UAS. www.horizonfuelcell.com/file/aeropak.pdf (29.3.2011)

Hornfeld, W., Wernstedt, J. (2007): Unmanned Underwater Vehicles UUV – Konzepte und Systeme unbemannter Unterwasserfahrzeuge zum Schutz von Systemen und Anlagen auf See. In: MarineForum Heft 7-8, S. 32–34

Howard, A.M., Tunstel, E.W. (2002): Development of Cognitive Sensors. Nasa Tech Brief, NPO-30283, www.techbriefs.com/component/content/article/3091-npo-30283 (29.3.2011)

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 www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=823586

Huang, H.-M., Pavek, K., Novak, B., Albus, J., Messina, E. (2005): A Framework For Autonomy Levels For Unmanned Systems (ALFUS). Proceedings of the AUVSI's Unmanned Systems North America, June 2005, Baltimore www.nist.gov/customcf/get_pdf.cfm?pub_id=824538

Hydroid (2010a): REMUS 100. www.hydroidinc.com/remus100.html (29.3.2011)

Hydroid (2010b): REMUS 6000. www.hydroidinc.com/remus6000.html (29.3.2011)

Ijspeert, A.J., Crespi, A., Ryczko, D., Cabelguen, J.-M. (2007): From swimming to walking with a salamander robot driven by a spinal cord model. In: Science 315(5817), S. 1416–1420

Inspekteur der Marine (2008): Zielvorstellung Marine 2025+. o. O.

Interpretive Guide (2008): Interpretive Guidance on the Notion of Direct Participation in Hostilities under International Humanitarian Law. In: International Review of the Red Cross 90 (872), S. 991–1047

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, www.rand.org/pubs/monographs/2008/RAND_MG626.pdf (29.3.2011)

Jane's (IHS Jane's) (2008): LDUUV (United States), Large AUVs. www.janes.com/articles/Janes-Underwater-Security-Systems-and-Technology/LDUUV-United-States.html (29.3.2011)

Karr, H. (2004): Neue Waffensysteme für die Deutsche Marine – Bestandsaufnahme und Zukunft. In: MarineForum Heft 3, S. 7–13

Karr, H. (2005): Abwehrfähigkeiten-Waffensysteme zum Schutz gegen asymmetrische Bedrohungen. In: MarineForum Heft 7-8, S. 19–23

Kleinert, G. (2010): Zukunft der Seeminenabwehr. Eine Analyse aus rüstungstechnischer Sicht. www.globaldefence.net/artikel-analysen/13767-deutschland-zukunft-der-seeminenabwehr-eine-analyse-aus-ruestungstechnischer-sicht.html?showall=1 (29.3.2011)

Klocke, F.-R. (2010): Deutschland – Minentaucher erproben Einsatz eines Autonomen Unterwasserfahrzeuges. www.globaldefence.net/waffensysteme/seesysteme/12309-deutschland-minentaucher-erproben-einsatz-eines-autonomen-unterwasserfahrzeuges.html (29.3.2011)

Klos, D. (2007): Unbemannte Luftfahrzeuge des Heeres. In: Europäische Sicherheit Heft 10, www.europaeische-sicherheit.de/Ausgaben/2007/2007_10/05_Klos/2007,10,05.html (29.3.2011)

Klos, D. (2009): Aufklärung des Heeres. In: Europäische Sicherheit Heft 1, S. 67–75

Kongsberg (2010): Synthetic aperture sonar HISAS 1030. www.km.kongsberg.com/ks/web/nokbg0240.nsf/AllWeb/90CBC5D82A8F2A6CC125721F003360C2?OpenDocument (29.3.2011)

Kueter, J., Kier, D. (2007): The Cruise Missile Challenge. Washington, DC www.marshall.org/pdf/materials/557.pdf (29.3.2011)

Kueter, J., Kleinberg, H. (2007): The Cruise Missile Challenge: Designing a Defense Against Asymmetric Threats. Washington, DC www.marshall.org/pdf/materials/522.pdf (29.3.2011)

La Franchi, P. (2006): One step beyond. www.flightglobal.com/articles/2006/06/13/207151/one-step-beyond.html (29.3.2011)

Lake, D. (2007): The Market for UUVs. In: Unmanned Vehicles, Februar, S. 29–30

Lange, S. (2008): Die Bundeswehr in Afghanistan. Personal und technische Ausstattung in der Einsatzrealität. SWP-Studie, Berlin

Larson, G.C. (2008): UAVs, or Nothing Can Go Wrong, Go Wrong. Aviation Week www.aviationweek.com/aw/generic/story_generic.jsp?channel=bca&id=news/bca0108p2.xml (29.3.2011)

Lartigue, C., Vashee, S., Algire, M.A., Chuang, R.-Y., Benders, G.A., Ma, L., Noskov, V.N., Denisova, E.A., Gibson, D.G., Assad-Garcia, N., Alperovich, N., Thomas, D.W., Merryman, C., Hutchison, C.A., Smith, H.O., Venter, J.C., Glass, J.I. (2009): Creating Bacterial Strains from Genomes That Have Been Cloned and Engineered in Yeast. In: Science 325(5948), S. 1693–1696

Lawand, K.A. (2006a): 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, Geneva www.icrc.org/eng/assets/files/other/icrc_002_0902.pdf (29.3.2011)

Lawand, K.A. (2006b): Reviewing the legality of new weapons, means and methods of warfare. In: International Review of the Red Cross 88(864), Geneva www.icrc.org/eng/assets/files/other/irrc_864_lawand.pdf (29.3.2011)

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. In: The Mail on Sunday, 16 July, S. 39

Lele, A., Mishra, A. (2009): Aerial Terrorism and the Threat from Unmanned Aerial Vehicles. In: Journal of Defence Studies 3(3), S. 54–65

Lewis, M.W. (2010): Statement. Hearing on Rise of the Drones II: Unmanned Systems and the Future of War. United State House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

Lewis, W.K. (2002): UCAV – The Next Generation Air Superiority Fighter? Thesis Presented to the Faculty of the School of Advanced Airpower Studies for Completion of Graduation Requirements. Air University, Maxwell Air Force Base, www.au.af.mil/au/awc/awcgate/saas/lewis.pdf

Luftwaffe (2010): Luftwaffe auf die Zukunft ausrichten. Interview mit dem Inspekteur der Luftwaffe Generalleutnant Aarne Kreuzinger-Janik. In: Strategie & Technik Heft 6, S. 12–18

Lundquist, E. H. (2009): Package deal: Unmanned systems for littoral combat ship missions. In: RUSI Defence Systems 12(1), S. 83–86

Mahnken, T.G. (2005): The Cruise Missile Challenge. Washington, DC www.csbaonline.org/wp-content/uploads/2011/03/2005.03.10-Cruise-Missile.pdf (29.3.2011)

Mahon, T. (2008): Europe's UCAV era – Unmanned Warplanes Move Closer to Reality. In: C4ISR Journal, www.c4isrjournal.com/story.php?F=3376485 (29.3.2011)

Mandelbaum, J, Ralston, J., Gutmanis, I., Hull, A., Martin, C. (2005): Terrorist Use of Improvised or Commercially Available Precision-Guided UAVs at Stand-Off Ranges: An Approach for Formulating Mitigation Considerations. Alexandria www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA460419

Manual (Program on Humanitarian Policy and Conflict Research at Harvard University, HPCR) (2009): HPCR Manual on International Law Applicable to Air and Missile Warfare. Cambridge http://ihlresearch.org/amw/HPCR%20Manual.pdf

Masey, J. (2007): Future Procurement: Disruptive Innovation. In: RUSI Defence Systems 9(3), S. 46–48

McDaniel, E. A. (2008): Robot Wars: Legal and ethical dilemmas of using unmanned robotic systems in 21st century warfare and beyond. Fort Leavenworth www.dtic.mil/cgi-bin/GetTRDoc?Location=U2&doc=GetTRDoc.pdf&AD=ADA502401 (29.3.2011)

Mercury Computer Systems, Inc. (2006): Deploying Hyperspectral Imaging on Predator – Onboard Predator, Big Things Must Come in Small Packages. www.mc.com/uploadedFiles/HSI-as.pdf (8.12.2010)

Miasnikov, E. (2005): Threat of Terrorism Using Unmanned Aerial Vehicles: Technical Aspects. Moscow www.armscontrol.ru/uav/UAV-report.pdf (29.3.2011)

Michelson, R.C. (2008): Test and Evaluation for Fully Autonomous Micro Air Vehicles. In: ITEA Journal 29(4), S. 367–374

Michelson, R.C., Naqvi, M.A. (2003): Beyond Biologically-Inspired Insect Flight. RTO/AVT Lecture Series on Low Reynolds Number Aerodynamics on Aircraft Including Applications in Emergening UAV Technology, http://angel-strike.com/entomopter/MICHELSON-NAQVI-1.pdf (29.3.2011)

Miles, D. (2004): Unmanned Aircraft Gain Starring Role in Terror War. American Forces Press Service vom 9.11.2004

Min-seok, K. (2009): U.S. to base new unmanned spy plane in Korea. Korea JoongAng Daily vom 19.12.2009, http://joongangdaily.joins.com/article/view.asp?aid=2914210 (29.3.2011)

MIT-ISN (Massachusetts Institute of Technology Institute for Soldier Nanotechnologies) (2009): Research. http://web.mit.edu/isn/research/index.html (29.3.2011)

MTCR (2007b): MTCR Equipment, Software and Technology Annex. www.mtcr.info/english/MTCR-TEM-2007-ANNEX-001_2.pdf (29.3.2011)

MTCR (Missile Technology Control Regime) (2007a): MTCR Annex Handbook. www.fas.org/nuke/control/mtcr/text/mtcr_handbook.pdf (29.3.2011)

Nachtigall, W. (2002): Bionik: Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Berlin u. a.O.

Naeem, W., Suttona, R., Chudley, J. (2007): Chemical Plume Tracing and Odour Source Localisation by Autonomous Vehicles. In: Journal of Navigation 60(2), S. 173–190

Nakagawa (2004): Nakagawa Report – Toward a Sustainable and Competitive Industrial Structure. Ministry of Economy, Trade and Industry, Tokyo

NASA (2008): Helios Prototype Solar-Powered Aircraft. www.nasa.gov/centers/dryden/history/pastprojects/Helios/ (29.3.2011)

National Air (National Air and Space Intelligence Center) (2009): Ballistic and Cruise Missile Threat. Wright-Patterson Air Force Base www.fas.org/programs/ssp/nukes/NASIC2009.pdf (29.3.2011)

National Intelligence Council (2001): Foreign Missile Developments and the Ballistic Missile Threat Through 2015. www.dni.gov/nic/PDF_GIF_otherprod/missilethreat2001.pdf (29.3.2011)

NDIA (National Defense Industry Association) (2004): Open Architecture, Dual Commercial/Military Use of Large Displacement Unmanned Undersea Vehicles. www.ndia.org/Divisions/Divisions/UnderseaWarfare/Documents/Content/ContentGroups/Divisions1/Undersea_Warfare/USW_uuv_study_final_report.pdf (29.3.2011)

Neuneck, G., Mölling, C. (Hg.) (2005): Die Zukunft der Rüstungskontrolle. Baden-Baden

Neuneck, G., Mutz, R. (2000): Vorbeugende Rüstungskontrolle. Baden-Baden

NRC (National Research Council) (2002a): Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles. Committee on Army Ground Vehicle Technology, Washington, DC

NRC (2002b): Future R&D Environments: A Report for the National Institute of Standards and Technology. Washington, DC

NRC (2005): Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations. Committee on Autonomous Vehicles in Support of Naval Operations, Washington, DC

NRC (2008): U.S. Conventional Prompt Global Strike. Issues for 2008 and Beyond. Washington, DC

Nugent, B. (2009): The State of the Market: UUVs. www.nwdefense.com/ami.pdf (8.12.2010)

O'Connell, M.E. (2010a): Statement. Hearing on Rise of the Drones II: Unmanned Systems and the Future of War. United State House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

O'Connell, M.E. (2010b): Unlawful Killing with Combat Drones. A Case Study of Pakistan 2004-2009. Notre Dame http://ssrn.com/abstract=1501144 (29.3.2011)

O'Rourke, R. (2006): Unmanned Vehicles for U.S. Naval Forces: Background and Issues for Congress. CRS Report for Congress, RS21294, www.fas.org/sgp/crs/weapons/RS21294.pdf (29.3.2011)

OUSD AT&L (Office of the Undersecretary of Defense for Acquisition, Technology and Logistics) (2005): Defense Systems: Land Warfare and Munitions. Joint Robotics Master Plan for FY 2005. Washington, DC

Papadales, B. (2003): Stimulating a Civil UAV Market in the United States. Issaquah

Paradiso, J.A.,Starner, T. (2005): Energy scavenging for mobile and wireless electronics. In: IEEE Pervasive Computing 4(1), S. 18–27

Parks, W. H. (2006): Means and Methods of Warfare. In: The George Washington International Law Review 38, S. 511–539

Paschen, H., Coenen, C., Fleischer, T., Grünwald, R., Oertel, D., Revermann, C. (2004) Nanotechnologie – Forschung, Entwicklung, Anwendung. Berlin u. a. O.

Patterson, M.R., Patterson, S.J. (2010/11). Unmanned Systems: an Emerging Threat to Waterside Security. In: IEEE Proceedings of the 2nd International Waterside Security Conference, 3–5 November, 2010, Marina di Carrara www.vims.edu/research/units/labgroups/asl/r_and_d/Publications/Patterson2010.pdf

Petermann, T., Coenen, C., Grünwald, R. (2003): Aufrüstung im All – Technologische Optionen und politische Kontrolle. Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag Bd. 16, Berlin

Petermann, T., Socher, M., Wennrich, C. (1997): Präventive Rüstungskontrolle bei Neuen Technologien. Utopie oder Notwendigkeit? Studien des Büros für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag Bd. 3, Berlin

Peterson, C.A., Head, M.E.M. (2002): SEAHORSES and SUBMARINES. In: Undersea Warfare 5(1), www.navy.mil/navydata/cno/n87/usw/issue_16/seahorses_and_submarines.html (29.3.2011)

Phillips, M. (2010): The New START Treaty and Protocol. www.whitehouse.gov/blog/2010/04/08/new-start-treaty-and-protocol (29.3.2011)

Pitsch, K.-H. (2009): Schiebel Camcopter S-100 – Unbemanntes Aufklärungssystem für die deutsche Marine. In: MarineForum Heft 5, S. 11–13

Pocock, C. (2008): EADS Seeks Early Go-ahead for Advanced UAV. www.ainonline.com/news/single-news-page/article/eads-seeks-early-go-ahead-for-advanced-uav-19063/ (29.3.2011)

Pöppelmann, J. (2010): Unbemannt am Himmel über Afghanistan – Heron 1 fliegt Aufklärungseinsätze für die Bundeswehr. In: wehrtechnik 6, S. 98–104

Proxy Aviation (2009): SkyWatcher – Versatile Optionally Piloted Aircraft. www.proxyaviation.com/SkyWatcher.pdf (21.1.09)

Quintana, E. (o. J.): The Ethics and Legal Implications of Military Unmanned Vehicles. RUSI Occasional Paper, www.rusi.org/downloads/assets/RUSI_ethics.pdf (29.3.2011)

Radsan, A.J. (2010): Loftier Standards For The CIA's Remote-Control Killing. Hearing on Rise of the Drones II: Examining The Legality Of Unmanned Targeting. United State House of Representatives Committee on Oversight and Government Reform, Subcommittee on National Security and Foreign Affairs, Washington, DC

Razavi, B. (2008): Gadgets Gab at 60 GHz. www.spectrum.ieee.org/consumer-electronics/standards/gadgets-gab-at-60-ghz/0 (29.3.2011)

RDE (Rheinmetall Defence Electronics GmbH) (2009): Mobiler Kleinroboter Foxbot. www.rheinmetall-detec.de/index.php?fid=4454&lang=2&pdb=1 (14.12.2009)

Reidelstürz, P., Link, J., Graeff, S., Claupein, W.(2007): UAV (unmanned aerial vehicles) für Präzisionslandwirtschaft. In: Bornimer Agrartechnische Berichte 60, S. 75–84

Rheinmetall AG (2006): Distanz schafft Sicherheit – Innovative Robotik-Systeme von Rheinmetall Defence. www.rheinmetall.de/index.php?lang=2&fid=1834 (29.3.2011)

Roblyer, D.A. (2004): Beyond Precision: Issues of Morality and Decision Making in Minimizing Collateral Casualties. ACDIS Occasional Paper, University of Illinois https://www.ideals.uiuc.edu/bitstream/handle/2142/39/RoblyerOP.pdf?sequence=1 (29.3.2011)

Roscini, M. (2005): Targeting and Contemporary Aerial Bombardment. In: The International and Comparative Law Quarterly 54, S. 411–444

Rosenthal, J. K.G. (2010): Der Einsatz von Unmanned Aerial Systems. In: Hardthöhen-Kurier 5, S. 41-45

RS JPO (Robotic Systems Joint Project Office) (2007): NDIA Briefing. www.dtic.mil/ndia/2007targets/Day1/MrDuaneGotval/RS873NDIABrief_Duane.pdf (29.3.2011)

Ruser, H., Puente León, F. (2007): Informationsfusion – Eine Übersicht. In: Technisches Messen 74(3), S. 93–102

Rusling, M. (2009): Navy to Explore New Ways to Employ Underwater Robots. In: National Defense Juni 2009, www.nationaldefensemagazine.org/archive/2009/June/Pages/NavytoExploreNewWaystoEmployUnderwaterRobots.aspx (29.3.2011)

Sarris, Z. (2001): Survey of UAV Applications in civil markets. http://med.ee.nd.edu/MED9/Papers/Aerial_vehicles/med01-164.pdf (29.3.2011)

Schaller, C. (2005): Private Sicherheits- und Militärfirmen in bewaffneten Konflikten. Völkerrechtliche Einsatzbedingungen und Kontrollmöglichkeiten. SWP-Studie, Berlin

Scheibel, T. (2009): Spinnenseide – was Spiderman wissen sollte. In: BioSpektrum 01/09, S. 23–25

Schladebach, M. (2008): 40 Jahre Weltraumvertrag. In: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht 27, S. 53–57

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, S. 11–48

Schneider, F. (2009): Experimentelles Mensch-Mehrrobotersystem (EMMRS). www.fgan.de/fkie/fkie_c119_f22_de.html (14.12.2009)

Schneider-Pungs, T. (2010): Zukünftige Seeminenabwehr. Eine industrielle Sicht. In: Strategie & Technik 2, S. 57–61

Schörnig, N. (2010): Die Automatisierung des Krieges. HSFK-Standpunkte 5, S. 1–12

Schütz, H. (2009): Bleibt die Seeminenabwehr eine Kernfähigkeit der Deutschen Marine? www.europaeische-sicherheit.de/Ausgaben/2009/2009_04/05_Sch%fctz/2009,04,05.html (29.3.2011)

Scott, R. (2008): New-generation USVs offer increased mission diversity. In: Jane's Navy International, April 2008, S. 16–22

Sharkey, N. (2007): Automated Killers and the Computing Profession. In: Computer 40, S. 122–124

Sharkey, N. (2008a): 2084: Big robot is watching you. Report on the future of robots for policing, surveillance and security. Sheffield staffwww.dcs.shef.ac.uk/people/N.Sharkey/ (8.12.2010)

Sharkey, N. (2008b): The Ethical Frontiers of Robotics. In: Science 322, 19. Dezember www.sciencemag.org/cgi/content/full/322/5909/1800 (8.12.2010)

Sharkey, N. (2008c): Cassandra or False Prophet of Doom: AI Robots and War. In: Computer 23(4), S. 14–17

Sharkey, N. (2009): Weapons of Indiscriminate Lethality. www.dw-gmf.de/1982.php (29.3.2011)

Simonite, T. (2008): »Robot arms race« underway, expert warns. www.newscientist.com/article/dn13382-robot-arms-race-underway-expert-warns.html (29.3.2011)

Singer, P.S. (2009): Military Robots and the Laws of War. In: The New Atlantis 23, S. 25–45

Sion Power (2007): SION Power Lithium Sulfur Batteries Soar to New Heights. www.sionpower.com/pdf/articles/SION%20Power-%20QinetiQ%20New%20Release%20Final%20Version.pdf (29.3.2011)

Sitorus, P.E., Nazaruddin, Y.Y., Leksono, E., Budiyono, A. (2009): Design and Implementation of Paired Pectoral Fins Locomotion of Labriform Fish Applied to a Fish Robot. In: Journal of Bionic Engineering 6(1), S. 37–45

SkySails (2009): Turn Wind into Profit. Unternehmensinformationen der SkySails GmbH & Co. KG, Hamburg www.skysails.info/fileadmin/user_upload/documents/Dokumente/SKS_Broschueren/DE/DE_SkySails-Turn_wind_into_profit.pdf (29.3.2011)

Socher, M., Geyer, H. (2008): Strategische Neuorientierung. Der Einsatz unbemannter Luftfahrzeuge – eine neue Option im Rahmen des Hochwasserrisikomanagements. In: Bevölkerungsschutz 3, S. 16–19

Sohraby, K., Minoli, D., Znati, T. (2007): Wireless Sensor Networks – Technology, Protocols and Application. Hoboken

Sparrow, R. (2007): Killer Robots. In: Journal of Applied Philosophy 24(1), S. 62–77

Sparrow, R. (2009a): Predators or Plowshares? Arms Control of Robotic Weapons. In: IEEE Technology and Society Magazine 28(1), S. 25–29

Sparrow, R. (2009b): Building a better WarBot. Ethical Issues in the design of unmanned systems for military applications. In: Science and Engineering Ethics 15(2), S. 169–187

SPAWAR (Space and Naval Warfare Systems Center) (2007): Robotics at Space and Naval Warfare Systems Center. www.spawar.navy.mil/robots/(29.3.2011)

Stauffer, N. (2007): Saying goodbye to batteries. MIT Energy Initiative, http://web.mit.edu/mitei/research/spotlights/saying-goodbye.html (29.3.2011)

Sulmasy, G., Yoo, J. (2007): Counterintuitive: Intelligence Operations and International Law. In: Michigan Journal of International Law 28, S. 625–638

Sweetman, B. (2010): Beast Sighted In Korea. Aviation Week vom 16.2.2010 www.aviationweek.com/aw/blogs/defense/index.jsp?plckController=Blog&plckScript=blogScript&plckElementId=blogDest&plckBlogPage=BlogViewPost&plckPostId=Blog:27ec4a53-dcc8-42d0-bd3a-01329aef79a7Post:088e4448-9e53-492f-8a14-7671361e1743 (29.3.2011)

TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2003): Militärische Nutzung des Weltraums und Möglichkeiten der Rüstungskontrolle im Weltraum (Autoren: Petermann, T., Grünwald, R., Coenen, C.). Sachstandsbericht, TAB-Arbeitsbericht Nr. 84, Berlin

TAB (2006): Potenziale und Anwendungsperspektiven der Bionik (Autoren: Oertel, D., Grunwald, A.). Vorstudie, TAB-Arbeitsbericht Nr. 108, Berlin

Takezawa, S., Tamama, H., Sugawawa, K., Sakai, H., Matsuyama, C., Morita, H., Suzuki, H., Ueyama, Y. (1995): Operation of the Thruster for Superconducting Electromagnetohydrodynamic Propulsion Ship »YAMATO 1«. In: Bulletin of the Marine Engineering Society of Japan 23(1), S. 46–55

Tao, X. (ed.) (2001): Smart Fibres, Fabrics and Clothing. Great Abington

Tasikas, V. (2004): Unmanned Aerial Vehicles and the Doctrine of Hot Pursuit: A New Era of Coast Guard Maritime Law Enforcement Operations. In: Tulane Maritime Law Journal 29, S. 59–80

Teal Group (2007): World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast 2007. Fairfax

Teal Group (2008): World Unmanned Aerial Vehicle Systems. Market Profile and Forecast 2008. Executive Summary. Fairfax

Teal Group (2009): World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast 2009. Fairfax

Teal Group (2010): World Unmanned Aerial Vehicle Systems – Market Profile and Forecast 2010. Fairfax

The Royal Academy of Engineering (2009): Autonomous systems. Social, Legal and Ethical Issues. London www.raeng.org.uk/societygov/engineeringethics/pdf/Autonomous_Systems_Report_09.pdf (9.12.2010)

UAVForum (o. J.): FAR TERM FORECAST (10 to 40 years out). http://uavforum.org/markets-farterm.asp (29.3.2011)

U.S. Army (2010): Modernizing the Army's Brigade Combat Teams. Increment 1 Capabilities. www.bctmod.army.mil/downloads/pdf/BCT%20Inc%201%20Program%20Overview%20Booklet_.pdf (14.12.2010)

U.S. Navy (2005): Vision/Presence/Power – 2005 Guide to U.S. Navy Programs. www.navy.mil/navydata/policy/vision/vis05/top-v05.html (29.3.2011)

U.S. Navy (2006): USS Scranton Completes Successful UUV Test. Pressemitteilung vom 9.3.2006, www.news.navy.mil/search/print.asp?story_id=22618&VIRIN=26010&imagetype=1&page=1 (29.3.2011)

Valerdi, R. (2005): Cost Metrics for Unmanned Aerial Vehicles. http://web.mit.edu/rvalerdi/www/UAVcostValerdi.pdf (29.3.2011)

van Blyenburgh, P. (ed.) (2009): UAS – Unmanned Aircraft Systems – The Global Perspective 2009/2010. Paris

van Blyenburgh, P. (ed.) (2010): UAS – Unmanned Aircraft Systems – The Global Perspective 2010/2011. Paris

van Blyenburgh, P., Butterworth-Hayes, P. (eds.) (2006): UAV Systems – The Global Perspective 2006/2007. Paris

van Est, R., de Vriend, H., Walhout, B. (2007): Constructing Life – The World of Synthetic Biology. Den Haag

Vangerow, B.-M., Maier, W. (2006): Autonome Unterwasserfahrzeuge – Sind die Unterwasseraufklärungsmittel für die Deutsche Marine eine oder keine Zukunftsperspektive? In: Marineforum Heft 12, S. 16–20

VisionGain (2007): The Emerging UUV and UGV Markets: Forecasts and Business Opportunities to 2020. San Francisco

Wagner, B. (2007): Civilian Market for Unmanned Aircraft Struggles to Take Flight. In: National Defense Magazine, October, www.nationaldefensemagazine.org/archive/2007/October/Pages/CivilianMarket2488.aspx (29.3.2011)

Wallace, A. (2007): Advances in Chemical Hydride Based PEM Fuel Cells for Portable Power Applications. Proceedings of »2007 Joint Service Power Expo« 24–26 April 2007. San Diego www.dtic.mil/ndia/2007power/NDIARegency/Thur/Session18JadooJSPEWallace/JadooJointServicePower2007_VERSION_2.pdf (29.3.2011)

Waltl, B., Kalwa, J. (2010): Autonome Unterwasser-Fahrzeuge von Atlas Elektronik. Effiziente Minenjagd auf höchsten Niveau. www.globaldefence.net/waffensysteme/seesysteme/15478-allgemein-autonome-unterwasser-fahrzeuge-effiziente-minen jagd-auf-hoechsten-niveau.html (29.3.2011)

Wasgindt, F. (2007): LUNA Eine Erfolgsgeschichte. In: Strategie & Technik 10, S. 28–32

Wassenaar (2007a): Guidelines & Procedures, Including the Initial Elements as Amended and Updated in 2003, 2004 and 2007. www.wassenaar.org/guidelines/index.html (29.3.2011)

Wassenaar (2007b): List of Dual-Use Goods and Technologies and Munitions List (Update 2007). www.wassenaar.org/publicdocuments/index_CL.html (8.12.2010)

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., Froissart, U., Heintschel von Heinegg, W., Raap, C (Hg.) Krisensicherung und Humanitärer Schutz. Festschrift für Dieter Fleck. Berlin, S. 689–709

Weißbuch (2006): Weißbuch 2006 zur Sicherheitspolitik Deutschlands und zur Zukunft der Bundeswehr. Berlin merln.ndu.edu/whitepapers/Germany_Weissbuch_2006_oB_sig.pdf (29.3.2011)

Wezeman, S. (2007): UAVs and UCAVs: Developments in the European Union. Briefing Paper, European Parliament, Directorate General External Policies of the Union, Policy Department External Policies, Brüssel

WMD Commission (2006): The WMDC Report – Weapons of Terror – Freeing the World of Nuclear, Biological and Chemical Arms. http://kms1.isn.ethz.ch/serviceengine/Files/ISN/26614/ipublicationdocument_singledocument/ea0a6488-ddb4-471e-befc-2f0c7068adb9/en/Weapons_of_Terror.pdf (29.3.2011)

Woods, D.D. (1996): Decomposing Automation: Apparent Simplicity, Real Complexity. In: Parasuraman, R., Mouloua, M. (eds.): Automation Technology and Human Performance: Theory and Applications, Philadelphia, S. 3–17

Zemp, J. (2008): Civil UAV applications in Switzerland. Presentation at UAV DACH Conference at ILA 2008, Berlin-Schönefeld, 30 May 2008, www.uavdach.org/Dokumente/content/ILA/13_soccerfield-RANGER.pdf (8.6.2010)

Zwanenburg, M., Boddens Hosang, H., Wijngaards, N. (2005): Humans, Agents and International Humanitarian Law: Dilemmas in Target Discrimination. In: Proceedings of the 4th Workshop on the Law and Electronic Agents (LEA 2005), S. 45–51 www.lea-online.net/publications/ZwanenburgBoddensWijngaards_LEA05_CR. pdf (29.3.2009)

ANHANG

1. TECHNOLOGIEPROGRAMME DER DARPA MIT RELEVANZ FÜR UMS

Strategische Hauptrichtungen und jeweilige Programme des Defense Sciences Office der DARPA und weiteren Abteilungen zusammen mit einer groben Bewertung ihrer Relevanz für UMS (N: niedrig, M: mittel, H: hoch)

TAB. 0-1 DARPA-DEFENSE-SCIENCE-OFFICE-PROGRAMME MIT RELEVANZ FÜR UMS

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
Physik		
Grundlagenphysik	Licht verlangsamen, speichern und verarbeiten	M
neue physikbasierte Geräte und Anwendungen	chemische Kommunikation	N
	kompakte gerichtete Neutronenquelle	N
	Präzisions-Trägheitsnavigationssysteme	H
	programmierbare Materie	M
Energie	integrierte Kondensatoren hoher Energiedichte	H
	Mikro-Energiequellen	H
	robuste, tragbare Energie	N
	Energieerzeugung durch Thermotunnelung	N
Materialien		
neue Materialien und Materialprozesse	beschleunigte Einführung von Materialien (D-3D)	H
	DARPA-Initiative Titan	H
	optische Nanoverbundkeramik	N
	Materialien mit negativem Brechungsindex	M
	Prognose	H
	strukturelles amorphes Metall	M
	hochentwickelte strukturierte Karbonfasern	H
	Kontrolle von Materialeigenschaften durch hochentwickelte Strukturen	H
	kühlungsfreie Magnetfeldsensoren mit Halbleitertechnologie	N
	maximale Mobilität und Leistungsfähigkeit	H
	Nanomaterialien für Energie	M

multifunktionelle Materialien und Materialsysteme	Panzerungsanforderung	N
	chemische Roboter	H
	Nano-Luftfahrzeug	H
	topologisch gesteuerte leichte Panzerung	N
	sofortige Feuerunterdrückung	N
	reaktive Materialstrukturen	M
biologisch inspirierte Materialien	konstruierte biomolekulare Nanogeräte/-systeme	M
	Z-Man	M
	naturinspirierte Photonik	N
Mathematik		
Grundlagenmathematik	Vernetzung von Sensoren	H
Biologie		
biologisch inspirierte Plattformen und Systeme	künstliche Nase	H
	optische Erfassung und Verarbeitung (Neovision 2)	H
	Leistungsschwimmen	N
	biometrische Berechnungen	H
	anpassungsfähige Systeme	H

Quelle: www.darpa.mil/dso/thrusts/index.htm (6.1.2011)

TAB. 0-2 HAUPTFELDER DES INFORMATION PROCESSING TECHNIQUES OFFICE

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
kognitive Systeme	15	H
Führung und Steuerung	8	H
rechnen mit hoher Produktivität	3	H
Sprachverarbeitung	3	N
Sensoren und Verarbeitung	14	H
aufkommende Technologien	3	M

Quelle: DARPA-IPTO nach Altmann et al. 2008, S. 82

TAB. 0-3 HAUPTRICHTUNGEN DES MICROSYSTEMS TECHNOLOGY OFFICE DER DARPA

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

Quelle: DARPA-MTO nach Altmann et al. 2008, S. 82

TAB. 0-4 HAUPTRICHTUNGEN DES STRATEGIC TECHNOLOGY OFFICE DER DARPA

Bereich	Programme	UMS-Relevanz
Sensoren und Strukturen im und nahe dem Weltraum	11	H
strategische und taktische Netzwerke	16	H
Informationsgewissheit	1	N
Entdeckung und Charakterisierung von Untergrundeinrichtungen	3	M
chemische, biologische und radiologische Abwehr	5	M
Seeoperationen	10	H
Operationen kleiner Einheiten	19	M

Quelle: DARPA-STO nach Altmann et al. 2008, S. 82

EU-FÖRDERMASSNAHMEN FÜR UAVs 2.

TAB. 0–5 EU-FÖRDERMASSNAHMEN FÜR UAVs

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
ATM (Air Travel Management)					
EUROCAE WG73	Subgroup #2: Airworthiness & Continued Airworthiness		seit 4/2006		
EDA	Air4All	Alenia Aeronautica, BAE Systems, Dassault Aviation, Diehl BGT Defence, EADS CASA, EADS Defence & Security Germany, Selex Galileo, QinetiQ, Rheinmetall Defence Electronics, SAAB AB, Sagem Defence Systems and THALES as Co-contractors	2008–2009	500.000	Entwicklung eines Fahrplans für die Einführung von UAS in den nicht beschränkten Luftraum bis 2015
EDA/ESA	Satellites enabling the Integration in Non-segregated airspace of UAS in Europe (SINUE)	INDRA, AT-One, GMV, Ses ASTRA, Ineco	Abschluss September 2010	k.A.	Untersuchung der technischen Umsetzbarkeit sowie ökonomischer und regulatorischer Realisierbarkeit bzgl. Der Integration von Weltraumtechnologien in UAS mit dem Ziel der Einführung von UAS in den kontrollierten Luftraum sowie der Weiterleitung der Daten für institutionelle und kommerzielle Zwecke

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
ESA	Satellite-Unmanned Aerial Vehicle (SUAV)	INDRA, MDA	seit 2008	k.A.	Erfassung der technischen und ökonomischen Voraussetzungen für ein auf Satelliten basierendes System zur Unterstützung für zivile und militärische Sattelit-UAS-Missionen, welches mit dem augenblicklichen und zukünftigen ATM-Regulatorien verträglich ist
Europä. Kommission/ Ten-T EA/ Eurocontrol	Single European Sky ATM Research (SESAR)	AENA, Airbus, Alenia Aeronautica, the DFS, the DSNA, ENAV, Frequentis, Honeywell, INDRA, NATMIG, NATS (En Route) Limited, NORACON, SEAC, SELEX Consortium and Thales.	2007–2020	2,1 Mrd. (jeweils 700 Mio. von Eurocontrol und der Industrie; jeweils 350 Mio. von der Kommission u. Ten-TEA)	Entwicklung eines modernisierten Managements des Flugvehrkehrs in Europa
Europ. Kommission (FP7: People-IRSES)	International Cooperation Program for Unmanned Aerial Systems (UAS) Research and Development (ICPUAS)	Colibri Project at the Computer Vision Group at Universidad Politecnica de Madrid (Spain), the Guidance and Control Group at the Department of Aerospace, Power and Sensors (DAPS) at Cranfield University (U.K) and The Australian Research Centre for Aerospace Automation (ARCAA) at Queensland University of Technology	2009–2012	70.200	Förderung eines internationalen Austausches dreier führender Institutionen, die in komplementären Feldern auf dem Feld der UAS forschen.

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Europ. Kommission (FP7: Security)	AiR Guidance and Surveillance 3D (ARGUS 3D)	Selex Sistemi Integrati SPA, Dependable Real Time DSystems Ltd, ENAV SPA, ISO Software Systeme GmbH, Econet S.L., Przemyslowy Instytut Telekomunikacji SA, Redhada SL, SESM Soluzioni evolute per la Sistemistica e i Modelli S.C.A.R.L., Universita degli Studi di Roma la Sapienza, Ciaotech SRL, Fraunhofer Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V., University College London	2009–2012	4,94 Mio.; davon 3,26 Mio. durch die EU	Verbesserung der Erkennung bemannter sowie unbemannter Vehikel , um potenzielle Gefahren auszumachen. Zu diesem Zweck müssen akkuratere Informationen sowohl über kooperative als auch über nichtkooperative fliegende Objekte nutzbar gemacht werden
Europ. Kommission (FP6: AERO-SPACE)	Innovative Operational UAV Integration (INOUI)	DFS Deutsche Flugsicherung GmbH, Office national D'Etudes et de Recherche Aerospatiales, Rheinmetall Defence Electronics, Fundacion Institudo de Investigacion INNAXIS, Boeing Research and Technology Europe SL, ISDEFE, Ingeniera de Sistemas para la Defensa de Espana S. A.	2007–2009	4,31 Mio., davon 2,32 Mio. durch die EU	Entwicklung von Dokumenten für einen Fahrplan der Zukunft von UAVs im Kontext der sich wandelnden Regelungen für den kontrollierten Luftraum
SESAR	WP4: En-Route Operations	DSNA; AENA, Airbus, Alenia, DFS, ENAV, Eurocontrol, Honeywell, INDRA, NATS, NORACON, SELEX, Thales			Konzepte und Beschreibungen der Operationen im Luftraum, um für den ATM-Masterplan ein effizienteres Verkehrsmanagement beizutragen

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
SESAR	WP9: Aircraft Systems	Airbus; Alenia, DSNA, Honeywell, Eurocontrol, NORACON, SELEX, Thales			Entwicklung, Validierung und Identifikation von Funktionen und technischen Lösungen für die zukünftigen Anforderungen an die Flugtüchtigkeit von Luftfahrzeugen; Sicherstellen von übereinstimmenden Funktionsentwicklung zwischen den Luftfahrtsegmenten
Kommunikationstechnologien					
EASA	Preliminary Impact Assessment On the Safety of Communications for Unmanned Aircraft Systems		2009 fertiggestellt	k.A.	Erfassung des Einflusses der bei UAVs verwendeten Kommunikationssysteme auf Sicherheit eines für bemannte und unbemannte Luftfahrzeuge gemeinsamen Luftraums
EUROCAE WG73	Subgroup #3: Command and Control, Communications and Spectrum, & Security				

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
EDA	Air4All: Study on military frequency spectrum allocations for the Insertion into General Air Traffic of UAS (SIGAT)	Co-contractor: Thales Systèmes Aéroportés, BAE Systems, Dassault Aviation, Diehl BGT Defence, EADS Defence & Security SA, EADS Deutschland GmbH, EADS CASA, IABG, Rheinmetall, Defence Electronics, Sagem Défense Sécurité Selex Communications, Selex Sistemi Integrati, GMV (former SkySoft), Thales Alenia Space, Thales Communications, TNO, Subcontractors: QinetiQ, EADS Astrium SAS, EADS Defence & Security Limited, EADS Astrium GMH, Paradigm, SeCom, Saab AB	2009–2010	ca. 1,5 Mio.	Definition und Förderung einer europäischen Position für die Bestimmung von Radiofrequenzen für die Kontrolle von UAVs und deren Integration in den kontrollierten Luftraum im Rahmen der Weltfunkkonferenz 2012
Europ. Kommission (FP7: - Information and Communication Technologies)	PLAtform for the deployment and operation of heterogeneous NETworked cooperating objects (PLANET)	Universität Diusburg-Essen, ETRA Investigation Desarollo SA, Selex Galileo Ltd., Fundacion Andaluza para el desarollo Aeroespacial, Asocciacion de la investigacion y cooperacion industrial de andalucia »F. de Paula Rojas«, The University of Edinburgh, ELSAG Datamat S.P.A., Universitá de Pisa, Agencia estatal consejo superior de investigaciones cientificas, Flying-cam SA, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Boing Research & Technology Europe S.L.	2010–2014	6,95 Mio.; davon 4,9 Mio. durch die EU	Planung einer Plattform, die die Entwicklung, den Einsatz und die Instandhaltung großer kooperativer Systeme aus unbemannten, über kabellose Netzwerke kommunizierenden Fahrzeugen ermöglicht.

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Europ. Kommission (FP7: People)	Cross-layer Optimization for Visual Sensor Networks (CLOVISEN)	Panepsitimio Ioanninon	2009–2013	100.000	Optimierung von Sensornetzwerken sowie der Kommunikation mit einer Zentralstation. Als Anwendungsgebiete werden Überwachung, automatische Zielverfolgung, ökologisches Monitoring oder auch die Kontrolle von UAVs angegeben
ESA	ARTES 5	Oerlicon Space, Lus Space, SensL	seit 2008	k.A.	Entwurf eines optischen Kommunikationssystems für zuverlässige und effiziente Datenverbindungen durch die Atmosphäre (z. B. für UAV oder GEO Satelliten)
Flugtechnik/»sense and avoid«					
EUROCAE WG73	UAS Operations & Sense and Avoid				
EDA	Nonlinear Innovative Control Designs and Evaluations	ONERA (FR), LAAS (FR), University of Rome (IT), Technische Universität München, University of Siena (IT), E&Q Engineering (ES), IRIDA LABS (EL), DLR (DE), Bertin Technologies (FR), Dassault Aviation (FR), LFK (DE), MBDA France , MBDA Italia	2010–2011	2,9 Mio.	Untersuchung innovativer nonlinearer Steuerungstechniken für den Einsatz in Militäroperationen. Diese werden an einem bemannten sowie unbemannten Kampfflugzeug und einer Rakete getestet.

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
EDA	Mid Air Collision Avoidance System (MIDCAS)	Saab AB (publ), Saab Aerosystems (appointed as Coordinator), Alenia Aeronautica S.p.A, Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. in der Helmholtz-Gemeinschaft, EADS Deutschland GmbH, ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH, Galileo Avionica S.p.A, INDRA SISTEMAS S.A, Italian Aerospace Research Centre CIRA S.c.p.A, Sagem Défense Sécurité,Selex Communications S.p.A, SELEX Sistemi Integrati S.p.A and THALES Systèmes Aéroportés S. A.	2009–2013	ca. 50 Mio.	Ziel von MIDCAS ist es, einen Standard für eine Funktion zur Vermeidung von Kollisionen in der Luft für UAVs zu demonstrieren. Diese Funktion zum Zweck der Einführung von UAV in den kontrollierten Luftraum soll auch für die bemannte Luftfahrt akzeptabel sein.
Europ. Kommission (FP6: Aerospace)	Safe automatic flight back and landing of aircraft (SOFIA)	Isdefe, Deutsche Flugsicherung, Galileo Avionica, Thales, AleniaSia, Rheinmetall Defence, Diamond Aircraft, IL, Skysoft	2006–2009	5 Mio.	Entwicklung einer Flugrekonfigurationsfunktion zur sicheren automatischen und autonomen Landung des Flugvehikels im Falle eines feindlichen Ereignissen (wie z. B. einer terroristischen Übernahme)

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Europ. Kommission (FP6: IST)	Micro Drone autonomous navigation for environment sensing (μDRONES)	Commissariat Energie Atomique CEA, AirRobot GmbH & Co. KG, Lysippos Meletes Technikon Ergon AE, Thales Security Systems SA, Eberhard Karls Universität Tübingen	2007–2009	3,35 Mio.; 1,9 Mio. durch die EU	Entwicklung der Technologie für vertikales Starten und Landen von kleinen UVAs, damit diese besser auf unerwartete Ereignisse wie Verbindungsabbruch oder Hindernisse reagieren können, aber auch z. B. für die bessere Überwachung in urbanen Umgebungen
Europ. Kommission (FP6: IST)	Coordination and control of cooperation heterogeneous unmanned systems in uncertain environments (GREX)	Atlas Elektronik GmbH, IMAR – Institudo do Mar, SCIANT LTD, Technische Universität Ilmenau, Seebyte Ltd., MC Marketing Consulting (Jarowinsky Michael), Institut Francais de Recherche pour l' Exploitation de la mer, Innova SPA, Institudo Superior Technico	2006–2009	4,8 Mio., davon 2,89 Mio. durch die EU	Entwicklung eines Konzepts zur Koordination eines Schwarms von unterschiedlichen, heterogenen physikalischen Objekten zur kooperativen Zielerreichung. Der Schwerpunkt liegt auf unbemannten Seefahrzeugen, jedoch lassen sich die Ergebnisse explizit übertragen

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Europ. Kommission (FP7: Transport)	Enabling Technologies for Personal Air Transport System (myCopter)	Max Planck Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften e.V., Karlsruher Institut für Technologie, Eidgenössische technische Hochschule Zürich, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., The University of Liverpool, Ecole Polytechnique federale de Lausanne	2011–2014	4,5 Mio.; davon 3,42 Mio. durch die EU	Erforschung eines fliegenden Personentransportsystems (PAV). Entwicklung von Steuerungssystemen, Überprüfung menschlicher Fähigkeiten, diese zu fliegen sowie Entwicklung von Technologien für den autonomen Flug wie z. B. Sense&Avoid
Europ. Kommission (FP7: Ideas)	Complex Structure and Dynamics of Collective Motion (COLLMOT)	Eötvös Loránd Tudományegyetem	2009–2014	1,25 Mio.	Erforschung neuer übergreifender Prinzipien der wesentlichen Aspekte von kollektiver Bewegung. Zu diesem Zweck werden Beobachtungen von Vogelschwärmen auf UAVs übertragen und darauf aufbauend Schlüsse für das beste Design für robotische Schwärme gezogen

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Projekte zur Förderung der zivilen Nutzung					
Monitoring/Grenzschutz					
Europ. Kommission/ (FRONTEX?)	EUROSUR	ESG, Thales, EADS, Selex-SI, Universität der Bundeswehr in München	2009–2010	Pilotprojekt: 2 Mio.	Technische Studie zur Entwicklung von Konzepten für eine Grenzüberwachungsinfrastruktur, ein sicheres Kommunikationsnetz und ein Informationsbild des Grenzvorbereichs im Rahmen eines Europäischen Grenzüberwachungssystems
Europ. Kommission (FP7: Security)	Transportable Autonomous Patrol for Land Border Surveillance (TALOS)	Przemyslowy Instytut Automatyki Pomiarow, Elliniki Aeroporiki Viomichania anonymi Etaireia, Societe nationale de Construction Aerospatiale Sonaca SA, Aselsan Elektronik Sanayi ve Ticaret A.S., Office National d'Etudes et de Recherches Aerospatiales-Onera, Instytut Technik Telekomunikacyjnych i Informatycznych SP. ZO.O., European Business Innovation & Research Center SA, Smartdust Solutions Ltd, , Israel Aerospace Industries Ltd., STM Savunma Teknolojileri Muhendislik ve Ticaret A.S., Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT),Telekomunikacja Polska S.A., TTI Norte S.L., Polite Shnika Warszawska	2008–2012	19,98 Mio., davon 12,9 Mio. durch die EU	Entwicklung und Feldtest eines Konzepts eines mobilen, modularen, skalierbaren, autonomen und adaptiven Systems für den europäischen Grenzschutz

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Europ. Kommission (FP7: Security)	Open Architecture for UAV-based Surveillance System (OPARUS)	SAGEM Defense Securite, Selex Galileo SPA, Dassault Aviation SA, Thales Systemes Aeroportes S.A., BAE Systems (Operations) LTD, EADS – Construcciones Aeronauticas S.A., Office National d'Etudes et de Recherches Aerospatiales, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V., Instytut Techniczny Wojsk Lotniczych*, Thales Communications SA, Iinstituto nacional de Technica Aerospatiales, Israel Aerospace Industries Ltd., Ingeniera de Sistemas Para la defensa de Espana SA-Isdefe	2010–2012	1,4 Mio., davon 1,19 Mio. durch die EU	Erarbeitung eines Konzepts für die Nutzbarmachung von UAS für die Überwachung europäischer Grenzen
Europ. Kommission (FP7: Security)	Wide Maritime Area Airborne Surveillance (WIMAAS)	Thales Systemes Aaroportes S.A., Instytut Techniczny Lotniczych, Sener Ingeniera y Sistemas S.A., Aerovision Vehiculos Aereos S SL, Galileo Avion CA S.P.A., Dassault Aviation SA, Universita TA Malta, Thales Communications SA, SATCOM1 APS, EURosense Belfo-top N.V., Totalfors-varets Forskningsinstitut, Commision of the European Communities – Directorate General joint Research Centre, Fraunhofer Gesellschaft e.V., Zavod za Varnostne, Tehnologije Informacijske Druzbe in Elektronsko Poslovanje	2008–2011	4 Mio., davon 2,74 Mio. durch die EU	Entwicklung von effektiveren Konzepten zur Überwachung der maritimen Grenzen durch Luftfahrzeuge, sowohl bemannt als auch unbemannt

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
FRONTEX	Border Surveillance Detection Programme: Remote Sensing and Detection	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.
urbane Überwachung					
Europ. Kommission (FP7: Security)	Intelligent information system supporting observation, searching and detection for security of citizens in urban environment (INDECT)	Akademia Górniczo-Hutnicza IM. Stanisaawa Staszica W Krakowie, Technical University of Sofia, Apertus Tavoktatas Fejlesztesi, Modszertani Kozpont Tanacsado es Szolgaltato Kozhasznu Tarsasag, APIF Moviquity S.A., Universidad Carlos III de Madrid, PSI Transcom GmbH, INNO-TEC DATA GbhH & CO KG, Bergische Universität Wuppertal, Politechnika Poznanska, Ministerstwo Spraw we wnetrznych i Administracji, University of York, Vysoka Skola Banska – Technicka Univerzita Ostrawa, Politechnika Gdanska, X-ART-Prodivision HandelsGmbH, Fachhochschule Technikum Wien, Police Service of Northern Ireland, Technical University Kosice, Institut Polytechnique de Grenoble	2009–2013	14,9 Mio., davon 10,9 Mio. durch die EU	Entwicklung eines Netzwerkes, das bestehende Überwachungstechnologien »zu einem universellen Überwachungsinstrument einer erkenntnisgestützten, proaktiven Polizeiarbeit bündeln soll«

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Gebietsmonitoring/Umwelt					
Europ. Kommission (FP7: People)	Precision agricultural crop monitoring using laser scanning and unmanned aerial vehicles (AGRIC-LASERUAV)	Agencia Estatal Consejo superior de Investigaciones Cientificas	2011–2013	154.417	Nutzbarmachung und Verbindung von UAV-Luftaufnahmen und einem LiDAR-Systemen zum landwirtschaftlichen Monitoring
Europ. Kommission (FP7: Environment)	Impact Monitoring of Mineral Resources Exploitation (IMPACT-MIN)	Geonardo Environmental Technologies Ltd., State Scientific and Research Institution Institute of Mineralogy of the Ural Branch of the Ural Branch of the russian Academy of Sciences, Photon D.O.O, Mizhnarodna Asociacia Ukrainskii Centr Menedjmentu Zemli ta Resursiv, DMT GmbH & CO. KG, Geosense, University of Mostar, Lulea Tekniska Universitet, Vlaamse Instelling voor Technologisch Onderzoeck N.V., Universitatea Babes Bolyai, The University of Exter	2010–2012	3,31 Mio., davon 2,61 Mio. durch die EU	Entwicklung von neuen Methoden für das Monitoring von ökologischen Auswirkungen des Bergbaus durch kombinierte Technologien von Satelliten, Messungen durch leichte Flugkörper und UAV
Europ. Kommission (FP7: ICT)	HYDROSYS: advanced spatial analysis tool for on-site environmental monitoring and management	Technische Universität Graz,Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Luode Consulting OY, The Chancellor, Masters and Scholars of the University of Cambridge, Ubisense Ltd., Ecole Polytechnique Federale de Lausanne, Teknillinen Kaokeakoulu	2008–2011	4,32 Mio., davon 3,26 Mio. durch die EU	Ziel ist das Erstellen einer Systeminfrastruktur zur Unterstützung des Monitorings natürlicher Ressourcen. Zu diesem Zweck werden sowohl Geräte zur Nutzung per Hand als auch mit Sensoren bestückte UAVs entwickelt

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Multimedia					
Europ. Kommission (FP7: ICT)	UAV-based capturing of HD/3D content with WSN augmentation, real-time processing and immaterial rendering for immersive media experiences (SKYMEDIA)	Mavigex S.R.L., SA Vitec, Fogsreen OY, Nimbus SRL, Optilink Mernoki Tanacsado KFT, Velti Anonymos Etairia Proionton Logismikou & Synafon Proionton & Ypiresion Tekever Tecnologias de Informacao S. A., Thales Communications S. A.	2010–2012	3,36 Mio., davon 2,31 Mio. durch die EU	Erforschung, Design und Demonstration einer neuartigen Multimediaarchitektur, um dem Publikum bei Live-Veranstaltungen einzigartige mediale Erlebnisse zu bieten. Zu diesem Zweck werden sowohl Medientechnologien als auch die Systemarchitektur weiterentwickelt. Für die Gestaltung der Systemarchitektur werden UAVs vorgesehen.
Unterstützung/Gefahrensituationen					
Europ. Kommission (FP6: SME)	Autonomous firefighting robotic vehicle (FIREROB)	Dok-Ing Drustvo S Ogranice Odgovornoscu za Inzenjering I Unutarnjui Vanjsku Trgovinu, Dikto Amyntikon Viomichanion net Anonymi Emporiki kai viomichaniki Etaireai, Brodarski Institut Doo Bi, The applied Technology Research Institute Ltd., Kampakas Metallourgiki Techniki Emporiki Kai Viomichaniki AE, Productos Productos y Mangueras Especiales S. A.	2008–2010	1,05 Mio., davon 803.315 durch die EU	Entwicklung eines autonomen unbemannten Fahrzeugs für die effektive Feuerbekämpfung in für Menschen gefährlichen Gebieten

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Auftragnehmer	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
Europ. Kommission (FP6: IST)	Group of unmanned assistant robots deployed in aggregative navigation supported by scent detection (GUARDIANS)	Sheffield Hallam University, K-Team S.A., Universitat Jaume I Di Castellon, Robotnik Automation, Sll, South Yorkshire Fire and Rescue Service, Faculdade Ciencias e Technologia da Universidade de Coimbra, , TOBB Ekonomi ve Teknoloji Universitesi, Universität Paderborn, Space Applications Services	2006–2010	3,4 Mio., davon 2,72 Mio. durch die EU	Entwicklung eines Schwarms autonomer Roboter, die dazu in der Lage sind, einem menschlichen Missionsleiter Schutz und Unterstützung zu leisten.

FÖRDERMASSNAHMEN FÜR UAVs IN DEUTSCHLAND 3.

TAB. 0–6 FÖRDERMASSNAHMEN FÜR UAVs IN DEUTSCHLAND

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Kooperationspartner	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
BMBF	Airborne Remote Sensing for Hazard Inspection by Network Enabled Lightweight Drones (AirShield)*	Technische Universität Dortmund, Microdrones, Stadt Dortmung – Institut für Feuerwehr- und Rettungstechnologie, GIS Consult, Universität Paderborn, Gesellschaft für Gerätebau mit beschränkter Haftung , Universität Siegen, Technische Universität Berlin	2008–2011	2,85 Mio.	u.a. Eignung von Drohnen für den Katastrophenschutz im Falle eines unkontrollierten Austritts von gasförmigen Schadstoffen

* Im Förderkatalog der Bundesregierung sind die Zuwendungen sowie Themen der einzelnen Teilprojekte aufgelistet

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Kooperationspartner	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
BMBF	Sofortrettung bei Großunfall mit Massenanfall von Verletzten (SOGRO)	Deutsches Rotes Kreuz Frankfurt a.M., Siemens AG, Andres Industries AG, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg, Universität Paderborn	2009–2012	606.000	Sofortrettung bei Großunfall mit Massenanfall von Verletzten (SOGRO) – Teilvorhaben: Grundlegende Untersuchungen zum Einsatz von UAV-Schwärmen zur Unterstützung von Einsatzkräften in Großschadenslagen
BMBF	Sofortrettung bei Großunfall mit Massenanfall von Verletzten (SOGRO)	Albert-Ludwigs-Universität Freiburg	2009–2012	341.000	Verbundprojekt: Sofortrettung bei Großunfall mit Massenanfall von Verletzten (SOGRO) – Teilvorhaben: Grundlegende Untersuchungen zu rechtlichen, ökonomischen und sozialen Aspekten des Einsatzes von RFID-basierten Triagierungssystemen und UAV bei Großunfällen
BMBF	Regelung und Automatisierung von autonomen unbemannten Fluggeräten (Auto-UAV)	Hochschule Ravensburg-Weingarten	2008–2011	ca. 257.000	Entwicklung neuer Algorithmen und Werkzeuge zur Regelung und Automatisierung autonomer unbemannter Fluggeräte
BMI/BMVBS	Validierung von UAS zur Integration in den Luftraum (VUSIL)	Deutsche Flugsicherung, EMT, Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung (BWB), BMV, DLR	2007–2009	k.A	Ziel war es, empirische Daten über die Möglichkeiten zu einer Integration von UAS in den Luftraum zu erheben. Dies beinhaltet sowohl Simulations- als auch Flugversuchsstudien

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Kooperationspartner	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
BMI	Luft Arbeits-Plattform für die Allgemeine Luftfahrt (LAPAZ1)	Institut für Luft- und Raumfahrt der TU Berlin, Institut für Luftfahrtsysteme der Universität Stuttgart, STEMME AG	2007–2010	k.A.	Entwicklung und Demonstration eines zuverlässigen und hochpräzisen Flugregelungssystems zur Pilotenunterstützung, das einen automatischen Flug in verschiedenen Betriebsarten ermöglichen und in späteren Ausbaustufen vollautomatische Starts und Landungen
BMVg	MID-Air Collision Avoidance System (MIDCAS)	EDA	2009–2012	10 Mio.	Beteiligung am europäischen MIDCAS-Projekt(Anhang 2)
BMVg	See and Avoid für UAV LUNA	EMT, Spies, DFS, DLR	2004–2009	3,63 Mio.	
BMVg	Advanced UAV Risk Reduction Studie	EADS Defense & Security	2007–2009	22,9 Mio.; Beitrag aller Regierungen: 57,7 Mio.; Kosten insgesamt: 1,5 Mrd.	Risikominderungsstudie, aus der der Entwurf für TALARION hervorgegangen ist (unbemanntes Fluggerät für Nachrichtengewinnung, Überwachung, Zielerfassung und Aufklärung)
BMVg	Frequenzbequenzbedarf für milit. UAVs	EDA	2008–2009	300.000	im Rahmen der EDA Initiative »UAV Traffic Insertion«
BMVg	Integrationsstudie VTOL-K130	IABG Industrieanlagen	2008–2009	1,7 Mio.	Integrationsstudie eines Systems für den vertikalen Start bzw. die vertikale Landung auf einer Korvette 130

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Kooperationspartner	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
BMVg	Systemdemonstrator Agiles UAV in vernetzter Umgebung	EASA, ESG OHB	2003–2010, Verlängerung bis 2013 war geplant	40,4 Mio.	Neben dem Nachweis von Technologien sollen mit dem Systemdemonstrator auch mögliche Einsatzkonzepte für solche Plattformen untersucht werden. Der Systemdemonstrator »Agiles UAV in vernetzter Umgebung« dient zur Simulation und Erprobung von Abläufen, bei denen die direkte Realisierung einer vollständigen Hardwarelösung noch zu riskant ist.
BMWi	Anwendung Drohnenbasierter Luftbilder – Mosaikierung, Entzerrung und Datenauswertung (ANDROMEDA)	Friedrich-Schiller-Universität Jena, Technische Universität Braunschweig, Thüringer Landesanstalt für Wald, Jagd und Fischerei, GEODATIK GmbH, GDS GmbH, HHK Datentechnik GmbH, Mavionics GmbH	2007–2010	438.000	Im Projekt wird eine komplexe Prozesskette entwickelt, die sich von der Erfassung der Luftbilder mithilfe der Drohne bis zur automatisierten Auswertung der Bilddaten für die Erfassung von raumbezogenen Informationen erstreckt. Das Bildmaterial wird von unbemannten, selbstständig fliegenden Kleinstflugzeugen (Drohnen) erfasst.
BMWi	Navigation zur Exploration mit tieffliegenden UAVs in Katastrophenszenarien (Next UAV)	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR)	2010–2013	ca. 985.000	k.A.

Auftraggeber/ Förderer	Projektname	Kooperationspartner	geplanter Zeitrahmen	Fördersumme/ Projektkosten in Euro	Projektinhalt
BMWi	Navigation zur Exploration mit tieffliegenden UAVs in Katastrophenszenarien (NExt UAV) (Teilprojekt TU-Braunschweig)	Technische Universität Carolo-Wilhelmina zu Braunschweig	2010–2013	ca. 668.000	k.A.
Hansestadt Bremen	Competitive Aerial Robot Technologies (goCART)	Deutsche Flugsicherung	2007–2010	2,4 Mio.	Ziel war einerseits eine Infrastruktur für die Entwicklung von Flugrobotern für die zivile Anwendung (z. B. zur permanenten Überwachung bestimmter, Küstenschutz relevanter Gebiete) aufzubauen, andererseits drei exemplarische Anwendungen prototypisch zu entwickeln: PROFILER, GUARD (VTOL), SCOUT
DFG	Unbemannte Flugkörper als neue geophysikalische Messplattform – Eine Pilotstudie	Universität zu Köln	2009		Es sollte untersucht werden, auf welche Weise unbemannte Flugkörper für geophysikalische Messmethoden eingesetzt werden können. Geplant ist die Messsensorik zweier geophysikalischer Untersuchungsmethoden, Magnetik und Elektromagnetik, auf einem UAV mit sogenannten VTOL-Eigenschaften zu integrieren und Testflüge durchzuführen

Auftrag-geber/ Förderer	Projekt-name	Kooperations-partner	geplanter Zeit-rahmen	Förder-summe/ Projekt-kosten in Euro	Projektinhalt
DFG	Entwicklung und Analyse eines form-adaptiven aeroelasto-flexiblen Nurflüglers	Technische Uni-versität München	seit 2008	k.A.	Im Mittelpunkt des Projekts stehen neue, technisch realisierbare Lösungsvorschläge für adaptive autonome Fluggeräte.

4. DEUTSCHE FIRMEN MIT KOMPETENZEN IM SEKTOR UNBEMANNTE SYSTEME (AUSWAHL)

TAB.0–7 DEUTSCHE FIRMEN MIT KOMPETENZEN IM SEKTOR UNBEMANNTE SYSTEME (AUSWAHL)

Name	Haupt-standort	Produktbeispiele	Systeme
AirRobot GmbH & Co. KG	Arnsberg	Micro-UAV AirRobot	UAV
Atlas Elektronik GmbH	Bremen	SeaFox, SeaWolf, SeaOtter	UUV
Autoflug GmbH	Rellingen	Mess- und Regeltechnik, kreisel-gestützte Sensoren	UAV
Carl Zeiss Optronics GmbH	Oberkochen	Optische Systeme	UAV/UGV/ USV/UUV
Cassidian	Ottobrunn	Barracuda; Euro Hawk; Talarion; Eagle I; Tracker; Scorpio; Seamos	UAV
Diehl BGT Defence GmbH & Co. KG	Überlingen	Predator B; Micro-UAV Sensocop-ter; David (UUV)	UAV/UUV
EMT Ingenieurgesellschaft Dipl.Ing. H. Euer mbH	Penzberg	ALADIN; LUNA; FanCopter; x13; MIKADO	UAV
ESG Elektroniksystem- und Logistik-GmbH	Fürstenfeld-bruck	Mission Management System für UAV; Elektronik und IT	UAV
IABG mbH; Abteilung De-fence und Security	Ottobrunn	Analysen, Simulation, Test, Tech-nologieentwicklung	UAV/UGV/ USV/UUV
Liebherr Aerospace Linden-berg GmbH	Lindenberg	Steuerungssysteme; Zulieferer für Barracuda	UAV
Mavionics GmbH	Braunschweig	UAV Carolo P50/T140/P200/ P330	UAV
microdrones GmbH	Kreuztal	Micro-UAV MD4-200, MD4-1000	UAV/(UGV)
MTU Aero Engines	München	Antriebe	UAV

Name	Hauptstandort	Produktbeispiele	Systeme
OHB Systems GmbH	Bremen	Satelliten; Sensor- und Datenübertragungssysteme	UAV
Rheinmetall Defence GmbH	Düsseldorf	KZO; Heron TP; Landroboter telemax, Foxbot, tEODor	UAV/(UGV)
Robowatch Technologies GmbH	Berlin	OFRO, CHRYSOR	UGV
Stemme GmbH & Co. KG	Strausberg	Motorsegelflugzeuge (z. B. S15)	UAV
telerob Gesellschaft für Fernhantierungstechnik mbH	Ostfildern	UGV telemax (s. Rheinmetall), NBCmax, OSCAR	UAV

Quelle: nach Altmann et al. 2008, S. 159 ff., aktualisiert

Eine Reihe weiterer Firmen, vor allem Zulieferer, wird im Folgenden aufgelistet: ASG Luftfahrttechnik und Sensorik GmbH, Base Ten System GmbH, BorJet, EME Elektrometall, ESW GmbH, Hoffmann Propeller GmbH & Co. KG, Imar Navigation, Limbach Flugmotoren GmbH & Co. KG, Roda Computer, Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG, Rotrob GmbH, RUAG Deutschland GmbH, SIM Security & Electronic Systems

TABELLENVERZEICHNIS 5.

Tab. 1 Beispiele zur Abgrenzung unbemannter Objekte in Bezug auf die UMS-Definition 27

Tab. 2 Klassifizierung von UMS für Luft, Land und Wasser 31

Tab. 3 Kategorien von UAV-Systemen (unbewaffnet) 33

Tab. 4 Übersicht zur Aufklärung eingesetzter UAVS in der Bundeswehr 41

Tab. 5 Übersicht des Standes der Beschaffung unbemannter fliegender Systeme in der Bundeswehr 43

Tab. 6 Beispiele U.S.-amerikanischer UAV-Systeme 47

Tab. 7 Geplanter Zeitraum für die Beschaffung von UAVS zur Durchführung spezifischer Missionen 49

Tab. 8 Vom BMVg geförderte technische Studien (seit 2007) 51

Tab. 9 Deutsche Teilnehmer beim M-ELROB 2008 53

Tab. 10 UGVs in den Streitkräften der USA 55

Tab. 11 UGV-Entwicklung im »BCT Modernization Program« 56

Tab. 12	Geplanter Zeitraum für die Beschaffung von UGS zur Durchführung spezifischer Missionen	58
Tab. 13	Größenklassen von UUVs nach Definition der U.S. Navy	60
Tab. 14	Geplanter Zeitraum für die Beschaffung von UUS/USS zur Durchführung spezifischer Missionen	68
Tab. 15	Autonomieniveaus der U.S. Army	117
Tab. 16	UMS-Funktionalitätsstufen mit wachsender Komplexität	127
Tab. 17	Technologiefeldabhängigkeitsmatrix zum Szenario »Aufklärung durch UMS zum Schutz von Mannschaften und Gerät im Einsatz«	129
Tab. 18	Technologiefeldabhängigkeitsmatrix zum Szenario »weiträumige Aufklärung«	133
Tab. 19	Technologiefeldabhängigkeitsmatrix zum Szenario »Überwachung und Schutz von Liegenschaften«	136
Tab. 20	Technologiefeldabhängigkeitsmatrix zum Szenario »Kampfmittelräumung«	138
Tab. 21	Schätzung weltweiter UMS-Umsätze in Mrd. Euro (2006)	141
Tab. 22	Haushaltsansätze des department of Defense für 2009 bis 2013 für unbemannte Systeme nach Stadien (in Mio. U.S.-Dollar)	142
Tab. 23	Gelieferte Einheiten und vergebene Lizenzen 2000–2009	145
Tab. 24	Importierte und unter Lizenz produzierte Einheiten 2000–2009	145
Tab. 25	Ausgewählte zivile Basistechnologien mit Relevanz für unbemannte Systeme	162
Tab. 26	Wehrtechnische Bedeutung wichtiger unbemannter Systeme der Bundeswehr	171
Tab. 27	Übersicht der Rüstungskontrollverträge mit Relevanz für UMS	185
Tab. 28	UMS-relevante ausgewählte Schlüsselkomponenten und Zuordnungskriterien des MTCR	189
Tab. 29	Kategorien des Wassenaar-Abkommens mit Relevanz für UMS (mit einer Auswahl von Systemen, Ausrüstungen und Komponenten, die ggf. Exportbeschränkungen unterliegen)	192

Tab. 30 UAV-Trägersysteme als Elemente im Konzept des Prompt Global Strike 210
Tab. 31 Geschätzte Sprengkraft verschiedener Angriffsoptionen 216
Tab. 0-1 DARPA-Defense-Science-Office-Programme mit Relevanz für UMS 247
Tab. 0-2 Hauptfelder des Information Processing Techniques Office 248
Tab. 0-3 Hauptrichtungen des Microsystems Technology Office der DARPA 249
Tab. 0-4 Hauptrichtungen des Strategic Technology Office der DARPA 249
Tab. 0-5 EU-Fördermaßnahmen für UAVS 250
Tab. 0-6 Fördermaßnahmen für UAVs in Deutschland 264

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 6.

Abb. 1 Das Größenspektrum unbemannter Flugsysteme 32
Abb. 2 Übersicht der deutschen UAV-Systeme 35
Abb. 3 MIKADO (AirRobot): Micro-UAV für die urbane Nächstfeldaufklärung 36
Abb. 4 ALADIN: Mini-UAV zur Nächstbereichsaufklärung 37
Abb. 5 LUNA: Short Range UAV zur Nahfeldaufklärung 37
Abb. 6 KZO: Medium Range UAV zur Zielerfassung und taktischen Aufklärung 38
Abb. 7 Ehemalige Konkurrenten bei SAATEG 39
Abb. 8 Camcopter S-100 40
Abb. 9 Euro Hawk: HALE-UAV zur strategischen Aufklärung 40
ABB. 10 UCAV Barracuda 42
Abb. 11 nEUROn-UCAV-Technologiedemonstrator-Konzept 44
Abb. 12 Modell des MALE Talarion präsentiert auf der Paris Air Show 2009 45
Abb. 13 Übersicht amerikanischer UAV-Systeme 47
Abb. 14 Stealth UAS RQ-170 Sentinel 48

Abb. 15 Systemdemonstrator »Teilautonomer Kleinroboter« (Foxbot) 51
Abb. 16 Unbemanntes Landfahrzeug »Gecko« 52
Abb. 17 Elektronisierte Landsysteme mit Drive-by-Wire-Steuerung 52
Abb. 18 UGVs der U.S. Army, die in der Operation »Iraqi Freedom« eingesetzt wurden 56
Abb. 19 Vier USV-Klassen 61
Abb. 20 Seeotter Mk II 63
Abb. 21 Das ferngelenkte Schnellboot »Protector« 67
Abb. 22 Leitsysteme: mittel- bis langfristige Entwicklungen 107
Abb. 23 Navigation: mittel- und langfristige Entwicklungen 109
Abb. 24 Planungssysteme: mittel- bis langfristige Entwicklungen 110
Abb. 25 Kommunikation: mittel- bis langfristige Entwicklungen 113
Abb. 26 Nutzsensorik: mittel- und langfristige Entwicklungen 116
Abb. 27 Trends in der Rechengeschwindigkeit von Großrechnern 120
Abb. 28 UAV-Weltmarktumsatz in Mrd. U.S.-Dollar 143

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS 7.

ABC	atomar, biologisch, chemisch
A-KSE	angepasster KSE-Vertrag
ALADIN	abbildende luftgestützte Aufklärungsdrohne im Nächstbereich
ALCM	Air-Launched Cruise Missile
ARV	Armed Robotic Vehicle
AUV	Autonomous Underwater Vehicle
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
BMI	Bundesministeriums des Innern
BMVBS	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung
BMVg	Bundesministerium der Verteidigung
BMWi	Bundesminsiterium für Wirtschaft
B-Waffe	biologische Waffe
BWB	Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung
CCD	Camouflage, Concealment, and Decoys
COCOM	Coordinating Committee on Multilateral Export Controls

C-Waffe	chemische Waffe
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DFKI	Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz
DFS	Deutsche Flugsicherung
DGPS	Differential Global Positioning System
DIN	Deutsches Institut für Normung
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DoD	Department of Defense
EASA	European Aviation Safety Agency
EDA	European Defence Agency
ELROB	European Land-Robot Trial
EO	Elektro-Optik
EOD	Explosive Ordnance Disposal
ESA	European Space Agency
EU	Europäische Union
EUROCAE	European Organisation for Civil Aviation Equipment
FGAN-FKIE	Forschungsgesellschaft für Angewandte Naturwissenschaften Forschungsinstitut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie
FuE	Forschung und Entwicklung
FuE	Forschung und Entwicklung
GAO	Government Accountability Office (früher: General Accountability Office)
GMTI	Ground Moving Target Indicator
GPS	Global Positioning System
HALE	High Altitude Long Endurance
HCOC	Hague Code of Conduct against Ballistic Missile Proliferation
ICAO	International Civil Aviation Organization
ICBM	Intercontinental Ballistic Missile
ICT	Information and Communication Technologies
IED	Improvised Explosive Devices
IMINT	Imagery Intelligence
INF	Intermediate-range Nuclear Forces
IR	Infrared
ISR	Intelligence, Surveillance, Reconnaissance
IST	Information Society Technologies
IT	Informationstechnik
KSE	Konventionelle Streitkräfte in Europa

KSZE	Konferenz für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa
KZO	Kleinfluggerät zur Zielortung
LACM	Land-Attack Cruise Missile
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LIDAR	Light/Laser Detection and Ranging
Lkw	Lastkraftwagen
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftVO	Luftverkehrs-Ordnung
LuftVZO	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
LUNA	Luftgestützte Unbemannte Nahaufklärungs-Ausstattung
MALE	Medium Altitude Long Endurance
MAV	Micro Aerial Vehicle
MCM	Mine Countermeasures
M-ELROB	Military European Land-Robot Trial
MIKADO	Mikroaufklärungsdrohne für den Ortsbereich
MIPS	Million Instructions per Second
MTCR	Missile Technology Control Regime
MTOW	Maximum Take-off Weight
MULE	Multifunctional Utility/Logistics and Equipment
MVW	Massenvernichtungswaffe
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NATO	North Atlantic Treaty Organization
NetOpFü	Vernetzte Operationsführung
OPALE	Optionally Piloted Aircraft Long Endurance
OSZE	Organisation für Sicherheit und Zusammenarbeit in Europa
OVCW	Organisation für das Verbot chemischer Waffen
PC	Personal Computer
RDE	Rheinmetall Defence Electronics GmbH
RECCE	Reconnaissance
REMUS	Remote Environmental Monitoring Units
ROV	Remotely Operated Vehicle
SAATEG	System für die Abbildende Aufklärung in der Tiefe des Einsatzgebiets
SAR	Synthetic Aperture Radar
SATCOM Bw	Satelliten Kommunikationssystem der Bundeswehr
SATCOM	Satellite Communication
SESAR	Single European Sky ATM Research
SIGINT	Signal Intelligence
SIPRI	Stockholm International Peace Research Institute

SKB	Streitkräftebasis
SLBM	Sea-Launched Ballistic Missile
SLCM	Sea-Launched Cruise Missile
SME	Small and Medium Sized Enterprises
SORT	Strategic Offensive Reduction Treaty
START	Strategic Arms Reduction Treaty
TAB	Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag
TSK	Teilstreitkraft
U.S.(A.)	United States (of America)
UAS	Unmanned Aircraft System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UCAS	Unmanned Combat Aerial System
UCAS-D	Unmanned Combat Aircraft System – Carrier Demonstration
UCAV	Unmanned Combat Aerial Vehicle
UGS	Unattended Ground Sensors
UGV	Unmanned Ground Vehicle
UMS	unbemannte militärische Systeme/Unmanned Systems
UN(O)	United Nations (Organization)
USS	Unmanned/Uninhabited Surface System
USV	Unmanned Sea (Surface) Vehicle
UTF	Unbemannte Transportfahrzeuge
UUS	Unmanned/Uninhabited Undersea/Underwater System
UUV	Unmanned Underwater Vehicle
VN	Vereinte Nationen
VTOL	Vertical Takeoff and Landing
VUSIL	Validierung von UAVs zur Integration in den Luftraum
Wabep	Wirkmittel zur abstandsfähigen Bekämpfung von Einzel- und Punktzielen
ZP	Zusatzprotokoll

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse seit 1990 in Fragen des technischen und gesellschaftlichen Wandels. Das TAB ist eine organisatorische Einheit des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) im Karlsruher Institut für Technologie (KIT). Das TAB kooperiert zur Erfüllung seiner Aufgaben seit 2003 mit dem FhG-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe.

**BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG**

KARLSRUHER INSTITUT FÜR TECHNOLOGIE (KIT)

Neue Schönhauser Straße 10
10178 Berlin

Fon +49 30 28491-0
Fax +49 30 28491-119

buero@tab-beim-bundestag.de
www.tab-beim-bundestag.de

ISSN-Print 2364-2599
ISSN-Internet 2364-2602