

**Büro für Technikfolgenabschätzung**  
**beim Deutschen Bundestag**

**TA-Projekt**

**„Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung**  
**unbemannter Systeme“**

**Endbericht**

***Zusammenfassung und Einleitung***





BÜRO FÜR TECHNIKFOLGEN-ABSCHÄTZUNG  
BEIM DEUTSCHEN BUNDESTAG

Thomas Petermann  
Reinhard Grünwald

# Stand und Perspektiven der militärischen Nutzung unbemannter Systeme

Endbericht zum TA-Projekt





---

# INHALT

---

|  |    |
|--|----|
| ZUSAMMENFASSUNG  | 5  |
| I. EINLEITUNG  | 19 |
| II. UNBEMANNTEN SYSTEME: EIN ÜBERBLICK   | 25 |
| 1. Definition und Abgrenzung   | 25 |
| 2. Kategorien von UMS  | 28 |
| 3. Unbemannte fliegende Systeme  | 32 |
| 3.1 UAVs in Deutschland  | 34 |
| 3.2 Weitere UAV-Aktivitäten  | 44 |
| 3.3 UAVs in den USA  | 47 |
| 4. Unbemannte Bodensysteme   | 50 |
| 4.1 UGVs in Deutschland  | 51 |
| 4.2 UGVs in den USA  | 56 |
| 5. Unbemannte Systeme zu Wasser  | 61 |
| 5.1 USVs/UUVs in Deutschland   | 64 |
| 5.2 UUVs/USVs in den USA   | 67 |
| III. UNBEMANNTEN SYSTEME IN DER BUNDESWEHR:<br>KONZEPTE, EINSATZSZENARIEN, FÄHIGKEITEN | 73 |
| 1. Bundeswehrgemeinsame Konzepte   | 74 |
| 1.1 Konzeptioneller Rahmen   | 74 |
| 1.2 Einsatzhintergründe  | 76 |
| 1.3 Fähigkeiten  | 77 |
| 2. Unbemannte Systeme der Streitkräftebasis  | 79 |
| 2.1 Konzepte   | 79 |
| 2.2 Einsatzhintergründe  | 79 |
| 2.3 Fähigkeiten  | 80 |
| 3. Unbemannte Systeme im Heer  | 81 |
| 3.1 Konzepte   | 81 |
| 3.2 Einsatzhintergründe  | 81 |
| 3.3 Fähigkeiten  | 85 |



## INHALT

|   |            |
|---|------------|
| 4. Unbemannte Systeme der Marine  | 88         |
| 4.1 Konzepte  | 89         |
| 4.2 Einsatzhintergründe   | 91         |
| 4.3 Fähigkeiten   | 93         |
| 5. Unbemannte Systeme der Luftwaffe                                       | 94         |
| 5.1 Konzepte  | 95         |
| 5.2 Einsatzhintergründe   | 96         |
| 5.3 Fähigkeiten   | 99         |
| <hr/>   |            |
| <b>IV. TECHNOLOGIEN UND SYSTEME</b>                                       | <b>103</b> |
| 1. Technologien   | 103        |
| 1.1 Antrieb und Energieversorgung   | 104        |
| 1.2 Leitsysteme   | 110        |
| 1.3 Navigation  | 112        |
| 1.4 Planungssysteme   | 114        |
| 1.5 Datenübertragung/Kommunikation  | 115        |
| 1.6 Nutzsensoren  | 117        |
| 1.7 Autonomie   | 121        |
| 2. Querschnittstechnologien   | 124        |
| 2.1 Informationstechnologie und Elektronik                                | 124        |
| 2.2 Neue Materialien  | 127        |
| 2.3 Biotechnologie und Biomimetik   | 128        |
| 2.4 Nanotechnologie/Mikrosystemtechnik                                    | 129        |
| 2.5 Zukunftsperspektiven von Querschnittstechnologien                     | 130        |
| 3. Einsatzszenarien und Systementwicklungen in der Zukunft – ein Ausblick | 131        |
| 3.1 Komplexität von Missionen und Systemen                                | 131        |
| 3.2 Zukünftige Systeme in ausgewählten Szenarien                          | 133        |
| <hr/>   |            |
| <b>V. ÖKONOMISCHE ASPEKTE UNBEMANNTER SYSTEME</b>                         | <b>145</b> |
| 1. Märkte für UMS   | 145        |
| 2. Kosten und Kostenvergleiche  | 151        |
| 2.1 Anmerkungen zu Kostenarten und Kostenelementen                        | 151        |
| 2.2 Beispielhafte Einsatz- und Kostenvergleiche                           | 154        |
| 3. Perspektiven ziviler Anwendungen                                       | 160        |
| 4. UMS als Innovationen   | 165        |
| 4.2 Innovationsblockaden und -perspektiven                                | 168        |
| 4.3 UMS und nationale wehrtechnische Fähigkeiten                          | 174        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>VI. UMS IM LICHT VORBEUGENDER RÜSTUNGSKONTROLLE</b>                                     | <b>181</b> |
| 1. Rüstungs- und Exportkontrollverträge und ihre Relevanz für UMS                          | 183        |
| 1.1 Rüstungskontrollverträge   | 183        |
| 1.2 Multilaterale Vereinbarungen zur Exportkontrolle                                       | 193        |
| 2. Völkerrechtliche Aspekte des Einsatzes von unbemannten Systemen im bewaffneten Konflikt | 199        |
| 2.1 Prüfungspflicht (Artikel 36 ZP I)  | 200        |
| 2.2 Einsatz von unbemannten Systemen für Aufklärungszwecke                                 | 201        |
| 2.3 Bewaffnete unbemannte Systeme  | 202        |
| 3. Sicherheits- und rüstungskontrollpolitische Folgen einer breiten Einführung von UMS     | 213        |
| 3.1 Gründe für eine rüstungskontrollpolitische Bewertung von UMS                           | 213        |
| 3.2 Beurteilung von UMS unter Stabilitätsaspekten  | 215        |
| 3.3 Nutzung von UMS durch substaatliche Akteure  | 219        |
| 3.4 Exkurs: UAVs und konventionelle Bomben   | 221        |
| <b>VII. INFORMATIONS- UND DISKUSSIONSBEDARF, HANDLUNGSFELDER</b>                           | <b>223</b> |
| <b>LITERATURVERZEICHNIS</b>  | <b>235</b> |
| 1. In Auftrag gegebene Gutachten   | 235        |
| 2. Weitere Literatur   | 235        |
| <b>ANHANG</b>  | <b>253</b> |
| 1. Technologieprogramme der DARPA mit Relevanz für UMS                                     | 253        |
| 2. EU-Fördermassnahmen für UAVs  | 256        |
| 3. Fördermassnahmen für UAVs in Deutschland  | 270        |
| 4. Deutsche Firmen mit Kompetenzen im Sektor unbemannte Systeme (Auswahl)                  | 276        |
| 5. Tabellenverzeichnis   | 277        |
| 6. Abbildungsverzeichnis   | 279        |
| 7. Abkürzungsverzeichnis   | 280        |



---

## ZUSAMMENFASSUNG

Im letzten 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 Wirkungsbereich 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;



## ZUSAMMENFASSUNG

- > 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.

### UNBEMANNTEN SYSTEMEN 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 insbesondere 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 Bedeu-



## ZUSAMMENFASSUNG

tung sind die Technologiefelder Antrieb und Energieversorgung, Leitsysteme, Navigation, Planungssysteme, Datenübertragung und Kommunikation, Nutzsensoren 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)*

Leitsysteme, Navigation und Planungssysteme unbemannter Systeme profitieren von Leistungssteigerungen bei elektronischen Komponenten und Fortschritten in der Forschung zur künstlichen Intelligenz. Eine verbesserte Sensorik erlaubt eine von externen Signalen unabhängige Selbstlokalisierung 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 automatische 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 unterschiedlichen

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 angeht. 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 Navi-



## ZUSAMMENFASSUNG

gation 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 Waffenplattformen 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 (unbemannte Luftfahrzeuge etwa 10.550). Gemessen an den reinen Stückzahlen dominiert die israelische Industrie



## ZUSAMMENFASSUNG

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



## ZUSAMMENFASSUNG

ein globaler Markt für UMS auch über die militärische Sicherheitsvorsorge hinaus konstituieren wird. Homeland Security und Industrial Security werden vielfach als Wachstumstreiber genannt, die Transformation der Verkehrssysteme durch die Integration ferngesteuerter und autonomer Systeme wird nicht aufzuhalten sein.

Angesichts 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. 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 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 Verkehr 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 Bedienpersonals. 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 der Rechtsmaterien. 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



## ZUSAMMENFASSUNG

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 den Einsatz nicht für defensive militärische Aktivitäten bestimmter 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



## ZUSAMMENFASSUNG

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. Ob und inwiefern menschliche Entscheidungsträger im Zusammenspiel mit technischen, zunehmend auch autonomen Systemen ihrer Verantwortung gerecht werden können, diese Frage 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 unbemannter 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. in Folge 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 verzuglos bekämpfen (hunter-killer). 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 Kon-



## I. EINLEITUNG

zepte und Planungen lassen erkennen, dass Zahl und Fähigkeiten von UMS signifikant 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 in den Bereichen »homeland security« und »industrial security« werden interessante und lukrative Marktsegmente erwartet, bei allerdings teilweise scharfem Wettbewerb. Deren Erschließung setzt allerdings voraus, dass eine Reihe noch bestehender technischer und regulatorischer Hindernisse beseitigt wird.

### 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.

### 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 veranschaulicht werden. 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 »expeditionary army« 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, dass 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 Masterplan 2007« 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 Nanotechnologie verfolgt, um insbesondere die für autonome Systeme er-



## I. EINLEITUNG

forderlichen »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 unbemannte 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 Intergration 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 »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. Bisher 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

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. Gespräche mit den Gutachtern haben geholfen, die komplexe Materie zu strukturieren und vermittelbar zu machen. Für die Bereitschaft zur Kooperation



## I. EINLEITUNG

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.