



Bern, 02.03.2022

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Bericht des Bundesrates
in Erfüllung des Postulates 21.3013 SiK-N vom
25. Januar 2021

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
2	Drohnenkategorien und Anwendungsmöglichkeiten.....	4
2.1	Drohnenkategorien	4
2.2	Entwicklungstendenzen bei Drohnentechnologien	6
2.3	Beurteilung	7
3	Drohnenabwehr	9
3.1	Fachbegriffe und technische Anforderungen an die Drohnenabwehr.....	9
3.2	Konzepte zur Drohnenabwehr.....	12
3.3	Drohnen und Drohnenabwehr in der Schweiz	14
3.3.1	Rechtliche Aspekte zu Definition und Verwendung von Drohnen	14
3.3.2	Alltag	16
3.3.3	Spannungen.....	18
3.3.4	Bewaffneter Konflikt	19
3.4	Führen Drohnen zu einem Paradigmenwechsel in der Verteidigung?	20
4	Schlussbetrachtung	21

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

1 Einleitung

Mit dem Postulat 21.3013 «Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie» vom 25. Januar 2021 beauftragte der Nationalrat am 8. Juni 2021 den Bundesrat, «zu prüfen und Bericht zu erstatten, welche Auswirkungen die Drohnentechnologie auf die Sicherheit der Schweiz hat, wie sich die Schweiz gegen mit Drohnen geführte feindliche Aktionen wappnen kann und wer in diesem Bereich zuständig ist.» Es geht folglich um die Beantwortung der Frage, worin die spezifischen Charakteristika sowohl der Drohnentechnologie als auch der Mittel zu ihrer Abwehr bestehen und welche Konsequenzen dies für die zivilen und militärischen Stellen hat, die mit Drohnen und ihrer Abwehr befasst sind.

Unter Drohnen werden im Allgemeinen sehr vielfältig ausgeprägte unbemannte Maschinen verstanden. Der vorliegende Bericht konzentriert sich auf die fliegenden Varianten. Dabei handelt es sich entweder um Flächenflugzeuge oder um Helikopter, genauer als "Drehflügler" bezeichnet. Im militärischen Umfeld und in Gesetzestexten werden sie als «unbemannte Luftfahrzeuge» bezeichnet, international zumeist als «unmanned aerial vehicles» (UAV).

Schon heute stehen Drohnen in der Schweiz täglich im Einsatz. So vermessen sie zum Beispiel Land, übertragen Sportereignisse, dienen der Unterhaltung – oder militärischen Zwecken. Dabei werden sie ferngesteuert, fliegen programmierte Wege ab oder steuern sich zunehmend autonom. Immer weiter verbreitet, vernetzt und mit zunehmend ausgefeilten Funktionen ausgestattet sind sie zudem ein Phänomen der Digitalisierung von immer mehr Lebensbereichen. Diese Entwicklung erweitert ihre Einsatzmöglichkeiten zusätzlich und macht sowohl Erwerb als auch Anwendung kostengünstiger. Es ist deshalb davon auszugehen, dass die Verbreitung von Drohnen in allen Nutzungsbereichen weiterhin zunehmen wird.

Drohnen werden auch militärisch genutzt, meistens noch immer zur Aufklärung. Seit über zwanzig Jahren werden in Konflikten zudem bewaffnete Drohnen eingesetzt. Weil sie günstiger geworden und immer weiter verbreitet sind, geschieht dies zunehmend auch in hybrid geführten Konflikten, entweder verdeckt durch staatliche oder dann durch nichtstaatliche Akteure. Dabei haben Drohnen die Konfliktführung deutlich beeinflusst, aber nicht radikal verändert. Derzeit gibt es nur wenig Anzeichen, dass sie dies noch tun werden. Dennoch wird ihr Einfluss – zumindest in gewissen Konfliktsituationen – in näherer Zukunft noch einmal zunehmen.

Da Drohnen und ihr Nutzungsspektrum sehr vielfältig sind, ist es auch schwierig zu erkennen, ob sie ein Risiko oder eine Bedrohung darstellen. Ebenso komplex ist ihre Abwehr. Sie muss sich auf ein breites Spektrum von Luftfahrzeugen unterschiedlichster Grösse und Flugeigenschaften ausrichten, die bereits im Alltag eine Bedrohung sein können. Weil so unterschiedliche Ziele wie einzelne Personen, Infrastrukturen und militärische Verbände vor Drohnen geschützt werden müssen, gibt es derzeit auch keine Lösungen, die alle Aspekte der Abwehr gleichermaßen berücksichtigen. In der Praxis bestehen deshalb noch vielfältige technische und konzeptionelle Probleme, die Fähigkeitslücken zur Folge haben. Die Regelung und Koordination der Zuständigkeiten zur Drohnenabwehr stellen weitere Herausforderungen dar.

Der vorliegende Bericht beschreibt zuerst in allgemeiner Form die verschiedenen Drohnenkategorien und ihre Anwendungsmöglichkeiten, die aktuellen Entwicklungstendenzen sowie rechtliche Aspekte zu Definition und Verwendung von Drohnen in der Schweiz. Danach folgt die Drohnenabwehr unter technologischen und konzeptionellen Gesichtspunkten. Schliesslich wird die Drohnenabwehr in der Schweiz heute und in näherer Zukunft beschrieben. Ein besonderes Augenmerk gilt der Frage, ob Drohnen als Bedrohung einen Paradigmenwechsel in der Verteidigung bedeuten.

2 Drohnenkategorien und Anwendungsmöglichkeiten

2.1 Drohnenkategorien

Drohnen mit grosser Verweildauer und grosser Flughöhe (HALE – High Altitude, Long Endurance)

Die aktuell grössten Drohnen mit Flügelspannweiten von über 20 Metern haben ein Startgewicht von mehr als fünf Tonnen. Sie sind technisch so ausgelegt, dass sie mehr als 24 Stunden in grossen Höhen in der Luft bleiben können. Sie legen dabei entweder tausende Kilometer zurück oder verweilen über einem Einsatzgebiet, um mit unterschiedlichen Sensoren¹ Ziele aufzuklären. Dabei fliegen sie in der Regel in Höhen von 15'000 m und mehr, also deutlich über dem zivilen Luftverkehr. HALE-Drohnen wurden bisher nicht bewaffnet.

Drohnen mit grosser Verweildauer (MALE – Medium Altitude, Long Endurance)

MALE-Drohnen haben die Grösse von Kleinflugzeugen und ein Startgewicht zwischen rund 600 Kilogramm bis fünf Tonnen. Auch diese Drohnen haben eine Verweildauer von über 24 Stunden in der Luft. Sie können damit Flughöhen von 10'000 Metern und mehr erreichen, fliegen aber oft deutlich tiefer, um die volle Leistung ihrer Sensoren auszuschöpfen. Zudem können MALE-Drohnen mit Lenkwaffen bewaffnet werden – diese Art Zuladung mindert allerdings die Verweildauer sowie die maximale Flughöhe.

Sowohl HALE- als auch MALE-Drohnen benötigen aufgrund ihrer Grösse Flugplätze, um zu starten und zu landen. Dank Satellitenkommunikation können sie über jede Einsatzdistanz gesteuert werden, einzig der Treibstoffvorrat limitiert ihre Reichweite oder Verweildauer im Einsatzgebiet. Zwar können sich einige Modelle bis zu einem gewissen Grad selber schützen, wenn sie angegriffen werden, aber deutlich schlechter als zum Beispiel Kampfflugzeuge. In Lufträumen ohne eigene Luftüberlegenheit können sie deshalb mit nur wenig Aussicht auf Erfolg eingesetzt werden.

Taktische Drohnen

Mit einem Startgewicht von bis zu 600 Kilogramm sind taktische Drohnen nicht mehr auf Flugplätze angewiesen, sondern können zum Beispiel mit Katapulten gestartet und mit Fangeinrichtungen oder Fallschirmen gelandet werden. In dieser Gewichtsklasse gibt es sowohl Flächenflugzeuge als auch senkrecht startende Drehflügler-Drohnen. Taktische Drohnen verfügen in der Regel nicht über Satellitenkommunikation und sind deshalb in ihrer Einsatzdistanz limitiert. Eine Vergrösserung der Einsatzdistanz ist grundsätzlich möglich, indem Relais eingesetzt werden – also Bodenstationen oder Drohnen, die das von der Fernsteuerung gesendete Signal empfangen und es weitergeben. Taktische Drohnen werden auch bewaffnet, allerdings nur mit kleinen und leichten Lenkwaffen oder allenfalls un gelenkten Bomben und Raketen, weil sonst die Flugleistung der Drohne zu stark eingeschränkt würde. Solche Lenkwaffen mit einem Gewicht von 10–30 Kilogramm verfügen über eine vergleichsweise geringe explosive Wirkung, weshalb ein präzises Lenksystem Voraussetzung für deren effektiven Einsatz ist. Ferner wurden Drohnen entwickelt, in die neben Sensoren auch Sprengladungen verbaut wurden – sogenannte Angriffsdrohnen, die international als «loitering munition» bezeichnet werden. Sie können Stunden über einem Zielgebiet kreisen und den Gegner aufklären, bevor sie sich selber auf ein Ziel stürzen und dort detonieren².

Gegenwärtig können nur Staaten mit einer fortschrittlichen Luft-Rüstungsindustrie grössere Drohnen (ab der Kategorie taktische Drohnen bis hin zu HALE-Drohnen) entwickeln und bauen. Das Gleiche gilt für den Bau miniaturisierter Lenkwaffen und deren Integration in die Drohnensysteme. Allerdings können Staaten, die über entsprechende Industrie verfügen, mit geringem Aufwand Drohnenmodelle von einigen 100 Kilogramm Startgewicht entwickeln und an nichtstaatliche Akteure weitergeben. Bei

¹ Elektro-optische Sensoren wie TV- oder Infrarot-Kameras, bilderzeugendes Radar, Erfassung elektromagnetischer Signale, vgl. Kap 3.1

² Angriffsdrohnen werden häufig in Konflikten hoher Intensität eingesetzt – jüngst zum Beispiel im Kaukasus Krieg 2020.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Bedarf werden solche Drohnen auch mit Sprengstoff bestückt, um damit Angriffe auf statische Ziele über mehrere hundert Kilometer Entfernung durchzuführen³.

Kleindrohnen

In der Kategorie Kleindrohnen mit einem Startgewicht von 20–150 Kilogramm gibt es sowohl Flächenflugzeuge als auch senkrecht startende Drehflügler-Drohnen. Sie können von 2–3 Personen transportiert und eingesetzt werden. Insbesondere Drehflügler-Drohnen eignen sich für Einsätze in überbautem Gelände. Angriffsdrohnen vergleichbarer Grösse ermöglichen im militärischen Bereich auch kleinen Einheiten auf der unteren taktischen Stufe – wie zum Beispiel einer Kompanie –, Ziele in Distanzen von deutlich über 10 Kilometern zu bekämpfen. Weil diese Angriffsdrohnen sehr tief fliegen können, leise und klein sind, stellen sie für Bodentruppen ohne radargestützte Entdeckungssysteme eine erhebliche Bedrohung dar.

Minidrohnen

Diese Kategorie umfasst alle Drohnen von 2–20 Kilogramm und dürfte sowohl für zivile als auch für militärische Anwendungen die grösste Vielfalt an verfügbaren Drohnenmodellen bieten. Solche Drohnen können zum Beispiel Grundstücke vermessen, Brände entdecken oder zu Freizeit Zwecken eingesetzt werden. Durch den technologischen Fortschritt können mittlerweile auch kleine Modelle mehrere Sensoren tragen. Auf dem freien Markt ist zudem eine breite Vielfalt standardisierter Komponenten verfügbar, mit denen sich sehr schnell eine grosse Anzahl Drohnen für spezifische Einsatzanforderungen bauen lässt. Dies ermöglicht es grundsätzlich allen Interessierten, selber Drohnen für bestimmte Aufgaben zu konstruieren. Sollen solche Drohnen bewaffnet werden, kommt wegen ihres geringen Gewichts hingegen nur ungelenkte Munition in Frage, die von der Drohne fallen gelassen wird und damit wenig präzise ist. Aufgrund der tiefen Kosten werden Minidrohnen zunehmend auch als Angriffsdrohnen entwickelt, wobei die Wirkung im Ziel vor allem wegen der tiefen Nutzlast in Kombination mit eher langsamer Geschwindigkeit noch relativ gering ist. Deswegen gibt es Bestrebungen, die Geschwindigkeit von Mini-Drohnen zu erhöhen, damit die kinetische Wirkung im Ziel grösser wird. Dank moderner Fertigungsmethoden wie dem 3D-Druck könnten zudem in kurzer Zeit für spezifische Einsätze eine grosse Anzahl Drohnen gebaut werden.

Mikrodrohnen

Mit weniger als 2 Kilogramm Startgewicht fallen vor allem kommerziell erhältliche Modelle in diese Kategorie. Wie die meisten anderen Drohnenkategorien sind auch viele Mikrodrohnen technisch sehr weit entwickelt und werden darum regelmässig auch im Militär eingesetzt. Militärische Drohnenmodelle verfügen über weitgehend vergleichbare Technologien, wenn auch leistungsfähigere und dementsprechend teurere Sensoren zum Einsatz kommen und die Datenübertragung aus Sicherheitsgründen verschlüsselt ist. Wegen ihrer beschränkten Akku-Leistung können sie nicht lange fliegen, bei niedrigen Temperaturen reduziert sich diese Dauer zusätzlich. Sehr kleine Mikro-Drohnen-Modelle von unter einem Kilogramm eignen sich kaum als Angriffsmittel, können aber zur Aufklärung in Gebäuden eingesetzt werden. Bei schlechten Wetterbedingungen, insbesondere bei starkem Wind, können sie aufgrund ihrer Grösse draussen gar nicht geflogen werden. Mittlerweile existieren auch Drohnen in Vogelgestalt, die das Flugverhalten von (Raub-)vögeln imitieren. Für das menschliche Auge sind sie vom Boden aus nur schlecht von Vögeln zu unterscheiden.

Unbemannte Kampfflugzeuge

Eine Spezialform von Drohnen sind unbemannte Kampfflugzeuge, die im Flugverhalten heutigen bemannten Kampfflugzeugen ähneln und wie diese für heutige Radarsensoren schwer aufzuklären sind⁴. Solche unbemannten Kampfflugzeuge sind derzeit noch nicht einsatzfähig. In Konzepten wird

³ Die Urhebererschaft solcher Aktionen ist bisweilen schwer zu eruieren, wie der Angriff auf die saudische Ölinfrastruktur im Jahr 2019 gezeigt hat. Damals wurde eine der wichtigsten saudischen Raffinerien bei Abqaiq mit einem von langer Hand geplanten Einsatz von Angriffsdrohnen sehr stark beschädigt, was zu erheblichen Preisschwankungen auf dem Ölmarkt führte. Obwohl die Ölinfrastruktur durch mehrere Systeme bodengestützter Luftverteidigung geschützt war, konnten die Angriffsdrohnen nicht effektiv abgewehrt werden. Bis heute ist nicht lückenlos nachgewiesen, wer für den Angriff verantwortlich ist.

⁴ Kampfflugzeuge der neuesten Generation verfügen über sogenannte Tarnkappenfähigkeiten, international als «Stealth» bezeichnet.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

aber versucht, einen grossen Teil des Fähigkeitsspektrums bemannter Kampfflugzeuge abzudecken, insbesondere die Aufklärung und die Bekämpfung von Bodenzielen. Gegenüber bewaffneten Drohnen hätten sie aber den Vorteil, dass sie sich selbst schützen und damit (anders als bewaffnete Drohnen) auch in verteidigten Lufträumen eingesetzt werden könnten – wobei keine eigenen Pilotinnen und Piloten gefährdet würden⁵. Unbemannte Kampfflugzeuge hätten aber den Nachteil, dass sie im Alltag kaum unabhängig zum Einsatz kommen könnten. Weder könnten sie im dicht (und auch von Pilotinnen und Piloten im Sichtflug) genutzten Luftraum sicher gesteuert werden, noch sind sie für die Aufgaben der Luftwaffe im Alltag geeignet: Für den Luftpolizeidienst ist beispielsweise nach wie vor die Lagebeurteilung des Piloten oder der Pilotin und der Sichtkontakt mit anderen Flugzeugbesatzungen unerlässlich, weshalb dafür auch Drohnen nicht in Frage kommen. Sie stellen zudem hohe Anforderungen an die Kommunikation sowie Navigation und sind störanfällig auf elektronische Kriegführung und Cyberangriffe. In absehbarer Zukunft werden wohl nur wenige hochindustrialisierte Staaten in der Lage sein, einsatzfähige unbemannte Kampfflugzeuge zu entwickeln. Weiter fortgeschritten sind hingegen Konzepte, bei denen unbemannte Kampfflugzeuge im Verbund mit bemannten Kampfflugzeugen eingesetzt werden. Dabei steuert der Pilot oder die Pilotin des bemannten Kampfflugzeugs das mit ihm oder ihr fliegende unbemannte Kampfflugzeug⁶.

2.2 Entwicklungstendenzen bei Drohnentechnologien

Für die Drohnentechnologie relevante Entwicklungen sind insbesondere in der Sensorik und Kommunikation, der Antriebstechnologie, der Schwarmtechnologie sowie der Autonomie und der künstlichen Intelligenz zu erwarten⁷.

Sensorik und Kommunikation

Die fortschreitende Miniaturisierung erlaubt die Installation immer mehr und immer unterschiedlicher Sensoren auf immer kleineren Plattformen. Parallel dazu nimmt die Qualität der gewonnenen Sensordaten stetig zu und neue Technologien und Standards – so der Mobilfunkstandard 5G – erlauben die Übertragung von immer grösseren Datenmengen. Zudem sind zum Beispiel Infrarotsensoren oder Wärmebildkameras, die bis vor wenigen Jahren militärischen Anwendungen vorbehalten waren, nun auch auf kommerziellen Drohnen frei verfügbar.

Antriebstechnologie und -konzepte

Mikro- und Mini-Drohnen sowie einige Klein-Drohnen-Modelle werden heute in der Regel mit elektrischen Antrieben ausgerüstet. Diese sind sehr leise, weisen aber eine deutlich kürzere Flugdauer auf als Verbrennungsmotoren vergleichbarer Grösse. Für einen Dauerbetrieb sind folglich mehrere Akkus mit einer ausreichenden Anzahl Ladegeräten nötig. Möglicherweise steht hier in naher Zukunft ein Durchbruch bevor, weil Brennstoffzellen die Vorteile beider Technologien vereinigen könnten.

Schwarmtechnologie

In der Öffentlichkeit wird die Schwarmtechnologie zuweilen mit der Darstellung von Bildern am Himmel durch Hunderte von Drohnen assoziiert. Diese beruhen allerdings nicht auf Schwarmtechnologie, sondern auf der koordinierten (und allenfalls programmierten) Steuerung einer grossen Anzahl von Drohnen. Die Drohnen eines Schwarms im Sinne der Technologie koordinieren sich hingegen untereinander selbständig und dauernd neu. Sie stehen in keiner besonderen Hierarchie zueinander und wirken

⁵ Aus der Entwicklungsidee des unbemannten Kampfflugzeugs sind auch weitere Systeme entstanden; so zum Beispiel unbemannte Tankflugzeuge, an denen sich bemannte Kampfflugzeuge während dem Einsatz auftanken lassen können.

⁶ International: Manned-Unmanned Teaming.

⁷ Die Schweiz verfügt in der Entwicklung von Schlüsseltechnologien für Drohnen und ihren kommerziellen Anwendungen über grosse Kompetenz. Der Bundesrat erachtet das Zusammenspiel zwischen zivilen und staatlichen Akteuren als einen wesentlichen Erfolgsfaktor, um die schnell fortschreitende Technologieentwicklung bei Drohnen einerseits nutzen zu können und sich andererseits gegen neue Bedrohungen durch Drohnen zu wappnen. Die Eidgenössischen Technischen Hochschulen in Lausanne (EPFL) und Zürich (ETH Zürich) sowie die Universität Zürich verfügen im weltweiten Vergleich über herausragende Kompetenzen in diesem Bereich. Gleichzeitig wurden in den letzten Jahren zahlreiche Start-Ups gegründet, die hoch innovative Produkte entwickeln. Die Schweizer Drohnenindustrie generierte 2021 einen Umsatz von schätzungsweise einer halben Milliarde Schweizer Franken. Darüber hinaus verfügt die Schweiz auch über eine gewisse Industrie, die klassische Flugabwehrlösungen anbietet; damit können auch bestimmte Drohnen neutralisiert werden.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

damit in einem echten Verbund. Die laufende Entwicklung zielt darauf ab, eine grosse Zahl von Drohnen so zu vernetzen, dass sie gemeinsam einen Auftrag erfüllen können. Kern jeglicher Schwarmtechnologie ist daher die Software, mit der prinzipiell jede Drohne ausgerüstet werden kann. Dabei soll ein Schwarm auch aus unterschiedlichen Modellen mit verschiedenen Nutzlasten bestehen können. Fallen einzelne Schwarmmitglieder aus, werden abgeschossen oder sonst neutralisiert, ist der Schwarm insgesamt zwar weniger effektiv, kann aber weiterhin seinen Auftrag erfüllen.

Autonomie und künstliche Intelligenz⁸

Die erwähnten Entwicklungen führen zu einer zunehmenden Autonomie der Drohnen. Schon heute existieren zum Beispiel Systeme, die ohne Fernsteuerung selbständig starten und landen können. Künstliche Intelligenz wird diese Entwicklung noch massgebend vorantreiben. Allerdings wird in absehbarer Zukunft der Einsatz zunehmend oder komplett autonomer Waffen noch mit vielen Problemen behaftet sein. Neben der grundsätzlichen Frage, ob und wie weit Entscheide Maschinen überlassen werden sollen und dürfen, stellen sich auch technische Herausforderungen, beispielsweise im maschinellen Lernen. Sollte eine Drohne in Zukunft innert weniger Minuten darauf trainiert werden können, sich in einem ihr unbekannten Gebiet effizient und ohne menschliches Einwirken zu bewegen, so könnte sie damit autonom einen Auftrag erfüllen. Allerdings hängt der Erfolg dieser Mission stark von der dazu genutzten Lernumgebung ab. Wird ein falsches Verhalten antrainiert, führt das zu falschen Reaktionen im Einsatz – wovon womöglich auch eigene Truppen betroffen sind. Diese Art von kalkuliertem Risiko im Einsatz muss deshalb sehr genau gegen den möglicherweise daraus gewonnenen Nutzen abgewogen werden; derzeit wird die vollständige Autonomie von Waffensystemen aus militärischer Sicht nicht angestrebt. Eher denkbar wären teilweise autonome Systeme, die so konzipiert und fähig wären, innerhalb eines festgelegten Rahmens mit hinreichendem Ausmass und Qualität menschlicher Kontrolle zu operieren. In beiden Fällen stellen sich neben grundsätzlichen ethischen Fragen auch diejenigen nach der Verantwortung beim Einsatz von (teil-)autonomen Systemen. Schliesslich muss auch beim Einsatz zunehmend autonomer Systeme das humanitäre Völkerrecht eingehalten werden.

Weitere mittelfristige Tendenzen

Weiter wird an verschiedenen Konzepten geforscht, die die Abhängigkeit der Drohne vom permanenten Link zur Fernsteuerung vermindern sollen⁹. Damit wären Drohnen in Zukunft noch schwieriger aufzuklären, weil sie – mindestens zeitweise – für ihre Steuerung keine elektromagnetische Abstrahlung mehr erzeugen würden. Ähnliche Bestrebungen versuchen die Abhängigkeit der Drohnen von Satellitennavigation zu vermindern, indem sie ihre Position und Flugweg über Kameras und andere Hilfsmittel autonom bestimmen können. Dies könnte für Flüge in Gebäuden, Tunnels oder Häuserschluchten wichtig werden. Durch die technologische Entwicklung ist ebenfalls von einer Zunahme des Einsatzspektrums auszugehen. Beispielsweise wurden in der aktuellen Forschung bereits Drohnen gezeigt, die aus der Luft aus ins Wasser stürzen, sich unter Wasser fortbewegen und wieder in die Luft starten. Solche Projekte sind allerdings noch lange nicht einsatzreif.

2.3 Beurteilung

Auf dem Markt sind seit über zehn Jahren zivile Mikro- und Mini-Drohnen frei erhältlich¹⁰, die technisch ähnlich weit entwickelt sind und Funktionen aufweisen, die es früher nur in militärischen Systemen gab: Sie können beispielsweise einen programmierten Weg abfliegen, Infrarot-Wärmebilder

⁸ Der Bundesrat legt Leitlinien zu diesen Fragen mit seiner am 26. Januar 2022 verabschiedeten Strategie zur Rüstungskontrolle und Abrüstung 2022–2025 fest, die auch das Postulat 21.3012 der Sicherheitspolitischen Kommission des Nationalrats vom 25. Januar 2021 beantwortet. Das Postulat beauftragte zu prüfen, «wie eine Einsatzdoktrin für künftige autonome Waffensysteme und künstliche Intelligenz in der Sicherheitsinfrastruktur unter Berücksichtigung internationaler ethischer Standards ausgestaltet werden kann und Möglichkeiten aufzuzeigen, sich international für diese einzusetzen».

⁹ International: Silent Flight

¹⁰ Drohnen können beim grenzüberschreitenden Transfer einer Kontrolle unterliegen. Welche zivil und militärisch verwendbaren Drohnen von der Schweiz kontrolliert werden, wird in der Güterkontrollgesetzgebung festgelegt. Diese Exportkontrollen sind im Rahmen der Vereinbarung von Wassenaar und dem Raketentechnologie-Kontrollregime (MTCR) international harmonisiert.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

erstellen und übermitteln oder einer Person selbständig folgen (Selfie-Drohne)¹¹. Inzwischen sind sie so einfach zu bedienen, dass jede Person ohne Ausbildung und Training fliegen kann.

Wie jedes Luftfahrzeug haben Drohnen neben ihrem Eigengewicht eine Nutzlast, die für das Mitführen von Treibstoff (oder Batterien) und anderen, nicht flugrelevanten Komponenten oder Objekten zur Verfügung steht. In militärischen Drohnen sind dies in der Regel Sensoren für die Aufklärung und Überwachung, allenfalls auch Lenkwaffen oder Sprengladungen. Drohnen können auch für Gütertransporte eingesetzt werden, in militärischen Versionen zum Beispiel zur Versorgung. In der Schweiz laufen diesbezüglich auch Versuche im zivilen Sektor. Dabei können Objekte abgeworfen, abgesetzt oder mit der Drohne gelandet werden.

In einigen wenigen Lufträumen stellen Drohnen bereits im Alltag eine unmittelbare Gefährdung dar. Dies betrifft vor allem den unteren Luftraum um zivile Flughäfen und militärische Flugplätze, inklusive mehrere Kilometer der An- und Abflugschneisen. Deshalb verbietet das UVEK Drohnenflüge ohne Bewilligung im Umkreis von 5 Kilometern um Flugplätze und Heliports¹². Zwar gibt es nach wie vor keine umfassenden Studien über die Auswirkungen von Kollisionen von Minidrohnen mit Passagierflugzeugen. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Minidrohnen erheblichen Schaden anrichten würden, analog zu bereits dokumentierten Vorfällen mit Vögeln. Bei den besonders heiklen Flugphasen Start und Landung könnten solche Schäden zu Abstürzen führen. Wird trotz Verbot eine Drohne im Umfeld eines Flughafens gesichtet, wird der Flugverkehr deshalb in der Regel für 20–30 Minuten unterbrochen.¹³ Werden Drohnen mutwillig wiederholt in der Nähe von Flughäfen geflogen, kann der Flugbetrieb dadurch nachhaltig beeinträchtigt werden. Der Vorfall beim britischen Flughafen Gatwick im Dezember 2018 führte dazu, dass dieser praktisch zwei Tage lang den Flugbetrieb einstellen musste – was kurz vor Weihnachten grosse Auswirkungen auf den gesamten europäischen Flugverkehr hatte. Auch in der Schweiz wurden von verschiedenen Flughäfen Vorfälle gemeldet, bei denen Drohnen gefährlich nahe an Flugzeuge herangeflogen sind, darunter Zürich-Kloten und Bern-Belp. Daneben stellen Drohnenflüge in Lufträumen, die vor allem von Helikoptern genutzt werden, generell eine Gefährdung dar. Dies betrifft vor allem den Luftraum bis 300 Meter über Grund, der von Helikoptern für Starts und Landungen, Arbeits- und Rettungsflüge und von der Armee benutzt wird. Allerdings können viele der unbeabsichtigten, durch unwissende oder fahrlässig handelnde Pilotinnen und Piloten verursachte Gefährdungen über Information seitens der Behörden verringert werden – dazu gehören zum Beispiel die Drohnen-Website des Bundesamts für Zivilluftfahrt BAZL.¹⁴

Ausserdem werden militärische Drohnen heute in nahezu jedem bewaffneten Konflikt eingesetzt; ihre primäre Aufgabe ist nach wie vor die Informationsbeschaffung. Darum wird in Streitkräften der Einsatz von Drohnen auf jeder Führungsstufe angestrebt, damit die Fähigkeit zur Aufklärung aus der Luft bis auf die unterste taktische Stufe verfügbar sein wird. Selbst kleine taktische Verbände werden deshalb in Zukunft über ein sehr viel präziseres Lagebild als heute verfügen. In den letzten Jahren wurden zunehmend bewaffnete militärische Drohnen eingeführt. Damit lässt sich die Zeit von der Identifikation eines Ziels bis zu dessen Bekämpfung stark verkürzen. Dabei wurden vor allem Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer (MALE)¹⁵ mit Lenkwaffen ausgerüstet. Miniaturisierte Lenksysteme ermöglichen inzwischen den Bau von Lenkwaffen von wenigen Kilogramm Gewicht, so dass auch kleinere Drohnen Lenkwaffen tragen können. Mit Sprengladungen versehene Angriffsdrohnen ermöglichen es, über dem Zielgebiet zu kreisen und den Gegner aufzuklären, bevor sie sich selber in ein Ziel stürzen.

¹¹ Gewisse dieser Funktionen dürfen nur mit Bewilligung des BAZL genutzt werden.

¹² Vgl. Art. 17 Abs. 2 Bst. a der Verordnung des UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien vom 24. November 1994 (VLK, SR 748.941).

¹³ Bei zivilen Minidrohnen geht man von einer Maximal-Flugdauer von 30 Minuten aus, wobei diese durch zusätzliche Batterien leicht auf bis zu 45 Minuten gesteigert werden kann.

¹⁴ <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen.html>

¹⁵ International: Medium Altitude, Long Endurance – (MALE)

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

3 Drohnenabwehr

Drohnen lassen sich auf unterschiedliche Weise abwehren oder bekämpfen. Dabei spielen mehrere Faktoren eine Rolle, die nicht für sich allein, sondern nur im Verbund betrachtet werden müssen: Die Art der Bedrohung, das vor der Bedrohung zu schützende Gut und die Lage beeinflussen sich gegenseitig.

So sind beispielsweise zur Bekämpfung einer Mini-Drohne mit einem Gewicht von 15 Kilogramm andere Abwehrmittel nötig als zur Bekämpfung einer Klein-Drohne mit einem Gewicht von 150 Kilogramm. Treten dieselben Mini-Drohnen aber im Schwarm auf, reichen die grundsätzlich geeigneten Mittel dafür nicht mehr aus und es kommen jene zum Zug, die auch für grössere Drohnen geeignet sind. Ähnlich beeinflusst das zu schützende Gut die Abwehr: Sollen militärische Verbände im Einsatz vor Drohnenschwärmen geschützt werden, können robustere Mittel (mit potenziell stärkerer Wirkung) als zum Schutz von Personen eingesetzt werden – Personen sind wegen ihrer leichteren Verwundbarkeit nämlich nicht nur durch die Bedrohung, sondern auch durch den möglichen Kollateralschaden der Drohnenabwehr gefährdet. Und schliesslich spielt die sicherheitspolitische Lage eine Rolle: Weil auf absehbare Zeit wohl vor allem militärische Akteure die Schwarmtechnologie¹⁶ nutzen werden, kann davon ausgegangen werden, dass diese Bedrohung nicht schon im Alltag auftreten wird, sondern wohl frühestens während Spannungen, zum Beispiel, um hochwertige Ziele in einer frühen Phase auszuschalten.

Im Folgenden werden die zum Verständnis der Drohnenabwehr nötigen Fachbegriffe und Konzepte erläutert, also der Zielbekämpfungsprozess, die Sensoren und die Effektoren.

3.1 Fachbegriffe und technische Anforderungen an die Drohnenabwehr

Zielbekämpfungsprozess

Voraussetzung, um Drohnen erfolversprechend abwehren zu können, ist zunächst, dass die Bedrohung überhaupt entdeckt wird¹⁷. In nächsten Schritten wird sie geortet und danach verfolgt. Indem einzelne Ortungspunkte aufgezeichnet werden, lässt sich der Flugweg¹⁸ darstellen und mit einiger Wahrscheinlichkeit vorausberechnen, wohin das Objekt steuert. Erst danach kann aufgrund der gewonnenen Daten eine Identifikation, eine eindeutige Zuordnung zu einer bestimmten (Bedrohungs-)Kategorie wie zum Beispiel «Mini-Drohne» vorgenommen werden. Dieser Schritt erfolgt bei den kleineren Drohnenkategorien heute meist noch durch den Menschen; indessen dürfte er durch Softwareverfeinerung in wenigen Jahren automatisch vorgenommen werden. Auch die Beurteilung des identifizierten Objekts im Rahmen der Abwehr (und damit die Entscheidung zu seiner möglichen Bekämpfung) erfolgt gegenwärtig vorwiegend durch den Menschen.

Sensoren

Aktive *Radarsensoren* senden über eine Antenne Mikrowellenimpulse aus, die von einem Flugobjekt zurückreflektiert werden. Aus diesen Reflektionen lässt sich die Position des Objekts berechnen. Dabei sind von Pulsen angestrahlte Objekte auf dem Schirm desto besser sichtbar, je grösser die rückstrahlende Fläche, also der Radarquerschnitt ist. Dieser ist unter anderem abhängig von der Grösse und dem Material eines Objekts. Kleine Drohnen, die zu grossen Teilen aus Plastik bestehen, haben einen entsprechend kleinen Radarquerschnitt.

Radarsensoren eignen sich generell für die Entdeckung und Ortung von Drohnen aller Grössen, da sämtliche Objekte erfasst werden, die genügend Radarstrahlen reflektieren. In der Schweiz ist die

¹⁶ Damit ist die unter 2.2 beschriebene intelligente Schwarmtechnologie gemeint. Es ist nicht auszuschliessen, dass programmierte Drohnen oder solche, die Navigationskonzepte wie Geländeabgleich verwenden, ähnlich wie Schwärme auftreten werden.

¹⁷ International: Detection

¹⁸ International: Track

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Ausleuchtung des unteren Luftraums aufgrund der Topografie und dichter Überbauung allerdings oft schwierig. Für die Entdeckung von Mikro- und Mini-Drohnen im Alltag – und insbesondere im überbauten Gelände – müssen Radarsensoren deshalb angemessen auf ihre Umgebung eingestellt sein. Die Kombination von geringer Grösse und langsamer Fluggeschwindigkeit führt dazu, dass solche Drohnen bei vielen älteren Radarsensoren eine ähnliche Signatur aufweisen wie grössere Vögel. Damit werden sie in vielen Fällen von der Software fälschlicherweise weggefiltert, die darauf programmiert ist, den Bediener des Radars nicht mit falschen Zielen abzulenken. Drohnen dieser Grösse und kleinere Kategorien stellen für die herkömmlichen Mittel der Luftverteidigung deshalb eine Herausforderung dar – auch weil eine Nachrüstung der Sensoren technisch anspruchsvoll wäre. Moderne Radarsysteme können kleine Drohnen hingegen immer besser entdecken und von anderen Objekten unterscheiden.

Dabei stellen die benötigten Frequenzressourcen eine grosse Herausforderung dar. So werden in Europa die für Radar nutzbaren zivilen Frequenzressourcen von der jeweiligen zivilen Luftraumüberwachungsbehörde eingesetzt; in der Schweiz ist dies Skyguide. Für die Drohnenerfassung sind keine europaweit harmonisierten Frequenzressourcen vorgesehen und die nationalen Sicherheitsorgane müssen daher gemeinsam auf militärische Frequenzressourcen zurückgreifen.

Passivradare nutzen ebenfalls Strahlungen im elektromagnetischen Raum. Im Gegensatz zu aktiven Radarsensoren senden sie selber keine eigenen elektromagnetischen Strahlen aus. Sie empfangen nur die Reflexionen von Strahlungen, die durch andere, vorwiegend zivile Sender erzeugt werden, und können dadurch Flugobjekte entdecken. Am besten eignen sich Sender, die permanent strahlen. Dazu gehören zum Beispiel analoge Radios (UKW Rundfunk, FM), digitale Radios (DAB) und digitales Fernsehen (DVB-T). Da diese Sender bereits bestehen, sind lediglich eigene Empfänger und eine zentrale Datenverarbeitung nötig. Weil die Empfänger selbst keine elektromagnetischen Strahlen aussenden, wird ihre Ortung erschwert. Gegenüber strahlenden Sensoren wie Aktivradaren macht dies Passivradarsensoren im Konflikt deutlich überlebensfähiger.

Sekundärradare dienen der Kontrolle des Flugverkehrs. Dazu werden von einem Sender verschlüsselte Mikrowellenpulse zum Luftfahrzeug gesendet, worauf dessen Transponder die Anfrage des Sekundärradars beantwortet. In dieser Antwort sind Informationen zu Flughöhe, -richtung und -geschwindigkeit enthalten, sowie unterschiedliche Daten zum Flugzeug selber. Kleinere Drohnen sind aktuell nicht standardmässig mit einem Transponder ausgerüstet.

Elektro-optische Sensoren wie TV- oder Infrarotkameras wandeln Licht oder Lichtveränderungen in elektrische Signale um. Sie sind nur mit Abstrichen für die Entdeckung und Ortung von Mikro- und Mini-Drohnen brauchbar, weil die Auswertung von Bilddaten – im Gegensatz zu Radardaten – um ein Vielfaches komplexer ist. Hingegen eignen sie sich für die Verfolgung und Identifikation dieser Kategorien, wenn sie von Radarsensoren entdeckt und geortet worden sind. Optische Sensoren kommen auch bei der Abwehr von Klein-Drohnen zum Einsatz.

Radiofrequenz-Sensoren klären Funksignale auf. Damit ist es möglich, auf der zur Steuerung verwendeten Frequenz Drohnen zu erfassen und teilweise zu orten. Gegenwärtig werden auch Systeme entwickelt, die eine Ortung des Piloten oder der Pilotin, beziehungsweise der Fernsteuerung, erlauben. Dazu werden mehrere Antennen verwendet, welche die Fernsteuerungssignale aufklären und gleichzeitig ihren Einfallswinkel sowie die Zeit, bis die Signale bei den Antennen sind, messen. Derlei Systeme könnten in Zukunft im statischen Einsatz – zum Beispiel, um einen Flughafen zu schützen – erfolgsversprechend sein.

Akustische Sensoren filtern Propellergeräusche aus dem Umgebungslärm heraus, um Drohnen zu entdecken, zu orten und zu identifizieren.

Sensorfusion bezeichnet ein Konzept, das unvollständige Daten von verschiedenen Sensoren zusammenfügt, um mit den Daten des einen Sensors die Leerstellen des andern zu ergänzen. So entsteht ein möglichst vollständiges Lagebild trotz im Einzelnen unvollständigen Rohdaten.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Effektoren

Weil Drohnen in der Regel über Funk gesteuert werden¹⁹, ist das *gezielte Stören der zur Steuerung verwendeten Frequenzen*²⁰ eine Möglichkeit, auf die Absicht des Piloten oder der Pilotin einzuwirken. Zurzeit werden grundsätzlich jene Frequenzen gestört, die zur Steuerung der Drohne (up-link) sowie diejenigen welche zur Positionsbestimmung der Drohnen²¹ erforderlich sind. Ist die zur Steuerung der Drohne verwendete Frequenz bekannt, so kann sie gezielt gestört werden. Dies ist zum Beispiel bei den meisten frei erhältlichen Freizeitdrohnen der Fall. Ist sie allerdings nicht bekannt, so müssten breitbandig Störsignale gesendet werden – mit im Alltag kaum akzeptablen Nebeneffekten. Dabei würden nicht nur die zur Steuerung verwendeten Frequenzen beeinflusst, sondern beispielsweise auch jene für Satellitennavigationsanwendungen.

Technisch ist es zudem möglich, Drohnen zu stören, die über das Mobilfunknetz gesteuert werden. Wegen der mannigfaltigen Konsequenzen für die zivile Kommunikation, nicht zuletzt wegen der möglichen Beeinträchtigung von Notrufen, ist dies aber auf absehbare Zeit nicht vorgesehen.

Gezielte Funkstörungen dürfen nur mit einer Bewilligung der zuständigen Frequenzregulierungsbehörde (Bundesamt für Kommunikation [BAKOM]) ergriffen werden und müssen vorgängig mit jenen Organisationen abgestimmt werden, die sicherheitsrelevante Funkanwendungen betreiben (Skyguide, BAZL, Armee usw.).

Um kleinere Drohnen abzufangen, existieren bereits jetzt *Netzwurfgeräte*, die eine Reichweite von 30-80 Metern erreichen. Alternativ können bis zu 30 Metern Distanz auch *Schrotflinten* verwendet werden, die kleinste Subgeschosse ausstossen und damit eine Splitterwolke bilden. Deren Wirkung ist im Vergleich zu Netzwurfgeräten bei höherem Kollateralschaden-Risiko allerdings geringer. Kleinwaffen und Waffenstationen können überdies speziell ausgerüstet werden, zum Beispiel mit einem Gewehraufsatz, sodass sich mit ihnen Drohnen bekämpfen lassen. Erprobt werden auch *Drohnenabwehr-Drohnen*, welche die eingedrungene Drohne unschädlich machen. Dazu fliegt die Drohnenabwehr-Drohne möglichst nahe an ihr Ziel heran und löst lokal einen Effekt aus, indem sie sie zum Beispiel mit einem Netz beschiesst. Ebenfalls auf dem Markt erhältlich sind Drohnenabwehr-Drohnen, die andere Drohnen in ein Netz einschliessen, das dann an einem Fallschirm zu Boden schwebt.

Geforscht wird auch an gezielten *Cyberattacken*. Heute sind dazu noch aufwendige Untersuchungen der Elektronik des Ziels notwendig, um dessen Schwachstellen zu ermitteln. Zukünftig könnten automatisierte Programme dabei helfen, die Steuerung von kommerziell verfügbaren Drohnen zu übernehmen, ohne dass der Benutzer eine fundierte technische Ausbildung haben muss. Es dürfte allerdings schwer bis unmöglich sein, militärisch geschützte und verschlüsselte Systeme in der kurzen Zeitspanne zu übernehmen, in der sie überhaupt bekämpft werden können.

Zur Drohnenabwehr grundsätzlich ebenfalls geeignet sind *Flugabwehrkanonen*. Moderne Munition wird dabei als Salve verschossen und ist so programmiert, dass sie kurz vor dem Ziel kleinste Subgeschosse freisetzt²², die sich trichterförmig ausbreiten und damit eine Splitterwolke bilden, welche die Drohne(n) zum Absturz bringen soll.

Zur Bekämpfung von taktischen Drohnen und grösser eignen sich auch *Lenkwaffen*, die von Systemen bodengestützter Luftverteidigung oder von Kampfflugzeugen verschossen werden. Weil diese Drohnen – wenn überhaupt – nur über wenig Selbstschutzmechanismen verfügen, ist die Aussicht auf Erfolg, wenn die Drohne einmal entdeckt wurde, mit hoher Wahrscheinlichkeit gegeben.

¹⁹ Ausnahmen stellen beispielsweise stationäre Beobachtungsdrohnen dar, die über ein Kabel mit der Bodenstation verbunden sind; dieses dient allerdings primär der Energieversorgung.

²⁰ International: Jamming

²¹ International: Global Navigation Satellite System (GNSS): globales Navigationssatellitensystem, System zur Positionsbestimmung und Navigation auf der Erde und in der Luft durch den Empfang der Signale von Navigationssatelliten. GNSS sind das amerikanische GPS, die europäischen Galileo- und EGNOS-Systeme, das russische GLONASS- oder das chinesische Beidou-System.

²² Diese Art der Munition wird «Airburst-Munition» genannt.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Für die Bekämpfung von einzelnen Drohnen eignen sich in Zukunft womöglich auch *Hochenergiewaffen* oder *gerichtete Mikrowellenpulse*. Diese befinden sich gegenwärtig aber noch im Entwicklungsstadium. Beide Konzepte könnten innert kurzer Zeit eine hohe Zahl von Zielen bekämpfen. Dafür sind allerdings hohe Ausgangsleistungen nötig²³, was insbesondere die Entwicklung moderner Abwehrsysteme erschwert. Die auf das Ziel einwirkende Energie kann durch schlechte Sicht, sowie reflektierende Materialien und Anstriche zudem stark gemindert werden. Ungeklärt ist zudem das Kollateralschadenspotenzial von Hochenergiewaffen.

Als insgesamt wenig effizient haben sich bisher Versuche mit dressierten Raubvögeln erwiesen.

3.2 Konzepte zur Drohnenabwehr

Der Schutz vor Drohnen ist nicht nur technisch, sondern auch konzeptionell komplex. Weil Drohnen sich nicht nur in Grösse und Gewicht, sondern auch im Einsatzzweck unterscheiden, der – abhängig von der Lage – mit einiger Wahrscheinlichkeit antizipiert werden kann, müssen vor allem Mikro- und Mini-Drohnen im Alltag gar nicht in jedem Fall zwingend abgewehrt werden. Es kann reichen, den Piloten oder die Pilotin zu finden, um die Belästigung zu beenden und sensitive Objekte einzustellen oder mit Sichtschutz zu versehen.

Die Abwehr von Mikro- und Mini-Drohnen

Gegenwärtig lassen sich Mikro- und Mini-Drohnen noch nicht zuverlässig entdecken, orten, verfolgen und identifizieren, und zwar weder im zivilen noch im militärischen Bereich. Je nach Bedrohungslage und Umgebungsfaktoren – wie Einsehbarkeit in das Gelände und Lärm – ist es zielführend, wenn ein geschulter Mensch die Drohne entdeckt und identifiziert.

Werden Systeme anstelle von Menschen eingesetzt, so verspricht derzeit eine Kombination von Radar und optischen Sensoren am meisten Erfolg. Dies kann zum Beispiel nötig sein, um die Durchhaltetfähigkeit zu erhöhen. Die Entdeckung erfolgt dabei meist über den Radarsensor, wobei seine Reichweite abhängig von der Standortwahl und der Einsehbarkeit in die Umgebung ist; unterstützt wird er manchmal durch Funkpeilungssysteme. Die Resultate werden umso zuverlässiger, je genauer die Sensoren auf ihre Einsatzumgebung eingestellt sind. Deshalb haben mobilere Lösungen (zum Beispiel ein auf einem Fahrzeug montierter Sensor), die überall hin verlegt werden können und deshalb wenig auf die genauen Umstände am Einsatzort ausgerichtet sind, einen konzeptionell bedingten Nachteil. Er kann kaum durch andere Vorteile wettgemacht werden.

Bei gewissen Systemen wird das erfasste Signal über eine Software bereits einer Kategorie zugewiesen, wie zum Beispiel «Vogel», «Helikopter» oder eben «Drohnen». Das Verwechslungs- und Fehlerpotenzial ist allerdings noch hoch, dürfte aber mit der Weiterentwicklung der eingesetzten Algorithmen in wenigen Jahren weitgehend eliminiert sein. Auch deswegen erfolgt im Anschluss anstelle einer automatisierten Weiterleitung heute zumeist die Übergabe an einen Operateur, der mit elektro-optischen Sensoren das Objekt identifizieren soll. Nach erfolgter Bestätigung der Drohne als Ziel verfolgt das Abwehrsystem das Objekt grundsätzlich selbständig. Weil Mikro- und Mini-Drohnen aber klein, ihre Flugwege von abrupten Richtungswechseln geprägt und damit sehr schwierig vorherzusehen sind, ist die unterbrochslose Verfolgung oft nicht gewährleistet. Zudem brauchen optische Sensoren, um Objekte im Fokus behalten zu können, einen deutlichen Kontrast zwischen Ziel und Hintergrund. Der Vorbeiflug einer anvisierten Drohne vor Gebäuden und Wolken oder die Unterschreitung der Baumwipfelhöhe können dabei schon genügen, dass der Fokus – und damit die automatische Verfolgung – verloren geht; allerdings dürfte auch dieses Problem durch Softwareverfeinerung in wenigen Jahren gelöst sein.

²³ Typische, für die bodengestützte Luftverteidigung geeignete Laser haben dabei eine Ausgangsleistung von ca. 30–100 Kilowatt.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Die beschriebenen Prozesse von Entdeckung bis Identifikation sind heute zeitaufwendig und fehleranfällig. Sollen die identifizierten Ziele darüber hinaus abgewehrt werden, bleibt nur eine kurze Frist, um diesen Entscheid zu fällen und auszuführen.

Weil sowohl die Reichweite von Mikro- und Mini-Drohnen selber, als auch diejenige ihrer Antenne limitiert ist, kann schon heute der Pilot oder die Pilotin gesucht und mit einiger Wahrscheinlichkeit gefunden werden – abhängig davon, ob er oder sie sich in offenem Gelände oder überbauten Gebiet aufhält. Sensoren, die den Standort des Piloten oder der Pilotin aufgrund der abgegebenen Funksignale errechnen, könnten diese Wahrscheinlichkeit in Zukunft erhöhen, weshalb derlei Systeme im statischen Einsatz – zum Beispiel, um einen Flughafen zu schützen – erfolgsversprechend sein könnten.

Werden Frequenzen von Drohnen hingegen gezielt gestört, reagieren Modelle je nach Programmierung unterschiedlich auf die Beeinträchtigung ihrer Steuerung. Einige verharren an Ort und Stelle, einige beginnen sich unkontrolliert zu bewegen, einige kehren zu ihrem Ausgangspunkt zurück – letzteres könnte immerhin dazu dienen, die Pilotin oder den Piloten ausfindig zu machen. Da aber bei allen drei Verhaltensweisen in der Regel eine kurze Phase des Stillstands in der Luft eintritt, in der die Drohne mit der Fremdeinwirkung umzugehen versucht, kann diese Methode Abwehrmittel wie *Netzwurfgeräte*, *Schrotflinten* oder *Drohnenabwehr-Drohnen* effizienter machen, sofern die Drohne diesen Abwehrmitteln genügend nahe kommt. Wird die Drohne allerdings nicht in Echtzeit ferngesteuert, sondern fliegt über programmierte Wegpunkte, so werden funkbasierte Abwehrmethoden hinfällig; es sei denn, die Störung der Frequenzen erfolgt so breitbandig, dass auch Satellitennavigationsfrequenzen oder andere wichtige Frequenzen betroffen sind. Wegen der ungewollten Störung vieler zivil genutzten Frequenzen im Alltag dürfte dies aber nur schon aus rechtlichen Gründen kaum praktikabel sein.

Frequenzstörende Konzepte werden ebenfalls nichtig, wenn die Drohne statt über die Frequenzbänder der heutiger Freizeitdrohnen über das Mobilfunknetz gesteuert werden. In diesem Fall kann sich der Pilot oder die Pilotin theoretisch irgendwo auf der Welt befinden, solange er oder sie Verbindung in ein Netz hat. Solche Drohnen können – zumindest im besiedelten Gebiet – im elektromagnetischen Raum nur schwer entdeckt werden, weil aufgrund der Menge der Emissionen im Mobilfunknetz diejenige der Drohne nur schwer herauszufiltern ist.

Gegenwärtig bestehen also sowohl technologisch als auch konzeptionell noch grössere Schwierigkeiten in der Abwehr von Mikro- und Mini-Drohnen. Ein System oder ein Systemverbund, der den ganzen Zielbekämpfungszyklus abdecken könnte, existiert noch nicht. Es fehlen derzeit selbst Systeme, die nur schon die Entdeckung solcher Drohnen in überbautem (und damit für die Abwehr schwierigerem) Gelände zuverlässig sicherstellen könnten. Die besten Resultate werden heute erreicht, wenn sich die Wirkungen von möglichst gut positionierten Sensoren und Effektoren gegenseitig überlagern, also eine eigentliche Abwehrarchitektur besteht. Dabei können je nach zu schützendem Gut unterschiedliche Kombinationen von Sensoren und Effektoren sinnvoll und wirksam sein. Diese Bündelung verschiedener Systeme ist jedoch mit erheblichem Aufwand verbunden, weshalb derzeit nur im vorbereiteten, räumlich begrenzten Objektschutz Aussicht auf Erfolg besteht.

Die Abwehr von Klein-Drohnen und Drohnenschwärmen

Die Bekämpfung von Angriffsdrohnen der Kategorie Klein-Drohnen (teilweise auch Mini-Drohnen) sowie von Drohnenschwärmen erfolgt heute am effizientesten durch Flugabwehrkanonen, die eine Reichweite von zwei bis drei Kilometern aufweisen. Aufgrund der verschossenen Munition mit Splitterwirkung können sowohl rasch manövrierende als auch im Verbund fliegende Drohnen gut bekämpft werden. Neben dem hohen Effizienzgrad ist ihr Einsatz auch kostengünstiger als die Abwehr mit Lenk Waffen.

Wenn Drohnen allerdings mit Kanonenmunition, die vor dem Aufprall zersplittert, zerstört werden, so kann dies im überbauten Gebiet Schäden an Menschen oder Gebäuden durch herabfallende Drohnenteile oder Munitionsreste verursachen. Die Notwendigkeit einer derartigen Bekämpfung im Alltag

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

muss daher stets dem Prinzip der Verhältnismässigkeit entsprechen. Deshalb ist der Einsatz derartiger Munition im Alltag wohl nur bei Gefahr für Leib und Leben oder bei einer erwarteten akuten Bedrohung eines sehr wichtigen Gutes vertretbar.

In Zukunft könnten zur Abwehr von Kleindrohnen und Drohnenschwärmen auch Hochenergiegewaffen zur Verfügung stehen. Hier bestehen jedoch konzeptionelle Herausforderungen. Solche Waffen müssen über eine gewisse Zeit auf das Ziel gerichtet sein, um Wirkung zu erzeugen und dabei die Drohne auf ihrem schwer vorhersehbaren Flugpfad präzise verfolgen können. Je stärker ein Laser ist, desto kürzer ist die zur Anstrahlung benötigte Zeit. Derzeit ist aber das Problem der Energieversorgung noch ungelöst. Zudem ist zu beachten, dass (ähnlich wie bei herkömmlichen Kanonen) ein «Schuss» eines Lasers ungewollten Schaden anrichten kann; bei zunehmender Leistungsstärke des Lasers nimmt diese Gefahr zu.

Auf längere Distanz können auch Lenkwaffen einzelne Drohnen bekämpfen. Sie sind aber um ein Mehrfaches teurer als Kanonenmunition, und vor allem auch teurer als die damit bekämpften Drohnen. Ihr Einsatz ist deshalb wohl nur sinnvoll, wenn er dem Selbstschutz oder dem Schutz eines wichtigen Objekts dient.

Die Bekämpfung von taktischen und grösseren Drohnen

In ihrem Flugverhalten und in ihrer Bekämpfung stellen die Kategorien ab der taktischen Drohne (und grösser) noch deutlicher als die Kategorie der Klein-Drohnen klassische militärische Ziele dar. Einerseits verfügen derzeit nur staatliche Akteure über solche Drohnen; sie dürften deshalb in einem Szenario in der Schweiz erst in Spannungen zum Einsatz kommen. Andererseits sind sie grösser und schwerer, damit weniger wendig, und fliegen deshalb berechenbarer als Mikro- und Mini-Drohnen. Zudem werden sie von Sensoren gut erfasst, weil sie einen hohen Radarquerschnitt aufweisen und damit herkömmlichen Flugzeugen ähnlich sind. Damit können sie grundsätzlich sowohl von moderner bodengestützter Luftverteidigung als auch von Kampfflugzeugen erfasst, verfolgt, identifiziert und bekämpft werden. Dies ist umso wichtiger, weil diese Drohnen aufgrund ihrer Grösse und der damit verbundenen erhöhten Nutzlast auch Träger schwererer Waffen sein können. Sie verfügen also nicht nur über Aufklärungs- und Feuerleitfähigkeiten, sondern können selbst Lenkwaffen einsetzen. Das macht sie zu gefährlichen Bedrohungen. Weil diese Drohnenkategorien in der Regel über keine oder nur schwache Selbstverteidigungsmöglichkeiten verfügen, wirkt bereits die Präsenz von wirksamer bodengestützter Luftverteidigung oder von Kampfflugzeugen in der Luft abhaltend.

3.3 Drohnen und Drohnenabwehr in der Schweiz

Die Gefährdung durch Drohnen steigt tendenziell vom Alltag über Spannungen bis hin zu einem Konflikt. Gleichzeitig eröffnen sich mit steigender Bedrohung immer mehr Abwehrmöglichkeiten, wobei die bereits eingesetzte Abwehr weiterhin greift.

Wie eine wirkungsvolle Drohnenabwehr ausgestaltet werden soll, ist abhängig von der Risikoabschätzung: also der Art der Drohne, dem potenziellen Schaden, den sie anrichtet, und der Wahrscheinlichkeit, mit der sie eingesetzt wird. Auch technische, rechtliche und betriebliche Einschränkungen können die Wirksamkeit von Abwehrsystemen einschränken. Zusätzlich zu berücksichtigen sind mögliche Kollateralschäden, auch hinsichtlich der Wirkung elektronischer Gegenmassnahmen. Im Folgenden sollen deshalb zuerst die rechtliche Situation zur Verwendung von Drohnen und anschliessend die Drohnenabwehr in der Schweiz vom Alltag über Spannungen bis in den bewaffneten Konflikt beschrieben werden.

3.3.1 Rechtliche Aspekte zu Definition und Verwendung von Drohnen

Was rechtlich unter einer *Drohne* zu verstehen ist, ist nicht definiert. Gemäss einer Verordnung des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK aus dem

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Jahr 1994²⁴ gelten Drohnen mit einem Gewicht bis 30 Kilogramm als unbemannte Modellluftfahrzeuge²⁵. Sie dürfen grundsätzlich von jedermann geflogen werden, solange stets ein direkter Augenkontakt zum Luftfahrzeug besteht und die Steuerung gewährleistet werden kann. Gebietseinschränkungen für Modellluftfahrzeuge und Drohnen bestehen in verschiedenen Ausprägungen, insbesondere rund um Flughäfen.

Drohnen jeglichen Gewichts gelten aber auch als unbemannte Luftfahrzeuge im Sinne des Luftfahrtgesetzes²⁶. Damit fallen sie auch unter die Wahrung der Lufthoheit²⁷, also unter all jene Massnahmen, die erlauben, gravierende Verletzungen von Luftverkehrsregeln zu ahnden und die missbräuchliche Benützung des Luftraumes zu verhindern.

Die meisten Vorfälle, in die Drohnen im Alltag involviert sind, beruhen indes auf Fahrlässigkeit. Häufig sind den Betreibern Einschränkungen für den Drohnenflug nicht bekannt. Diese Fälle gelten als Übertretung im Sinne des Luftfahrtgesetzes und können mit Bussen von 150 bis 300 Schweizer Franken bestraft werden²⁸. Schwere vorsätzliche Vergehen können mit Freiheitsstrafe bis zu drei Jahren oder Geldstrafe geahndet werden.²⁹ Zudem haben die Kantone die Möglichkeit, selbst Vorschriften zur Verminderung der Gefährdung von Sachen und Personen auf der Erde zu erlassen³⁰.

Mit Drohnen und Drohnenabwehr befasste Organisationen in der Schweiz

In der Schweiz befassen sich verschiedene staatliche Stellen mit Drohnen und Drohnenabwehr. So setzt das BAZL im Bereich der betrieblichen Sicherheit³¹ die Luftverkehrsregeln durch, indem es Bussen für Übertretungen ausspricht. Für die Sicherheit im Sinne der Gefahrenprävention³² sind die staatlichen Sicherheitskräfte verantwortlich. Dabei konzentriert sich die *Polizei* eher auf den Schutz, die *Armee* hingegen auf die Abwehr – abhängig von der Lage.

Daneben existiert das *Strategische Koordinationsgremium Drohnen*, bestehend aus Vertretern der Bundeskanzlei, der beiden Departemente UVEK und VBS, der Konferenz der Kantonalen Justiz- und Polizeidirektorinnen und Polizeidirektoren KKJPD sowie der Konferenz der kantonalen Polizeikommandanten KKPKS. Es soll unter anderem rechtliche Fragen rund um den Drohneneinsatz und die Drohnenabwehr klären, was hauptsächlich die Luftwaffe und die Polizeikörpers betrifft.

Schon länger verfolgt und dokumentiert die *Arbeitsgruppe Drohnen* der KKPKS mit einem erweiterten Teilnehmerkreis³³ die aktuelle Entwicklung beim Einsatz und der Abwehr von Drohnen durch die Polizei und weiterer Sicherheitsorgane in der Schweiz.

Armasuisse Wissenschaft und Technologie (W+T) und ihr 2017 gegründetes *Schweizer Drohnen- und Robotik-Zentrum* des VBS (SDRZ VBS) widmen sich der Technologieentwicklung, der Forschung und der Innovation. Dazu werden verschiedene Projekte verfolgt, welche die Drohnenerfassung und Bekämpfung von Kleindrohnen erforschen³⁴. Ausserdem organisiert armasuisse W+T Anlässe für ein Fachpublikum, bei denen der Stand der Drohnenabwehr-Technologie aufgezeigt wird.

In der Armee sind erste Arbeiten zum Aufbau eines *Kompetenzzentrums Drohnen* gestartet worden. Es soll die verschiedenen Anstrengungen innerhalb der Armee bündeln und vorhandene Synergien nützen.

²⁴ Vgl. Verordnung des UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien vom 24. November 1994 (VLK, SR 748.941).

²⁵ Die geplante Übernahme der EU-Drohnenregulierung, die unter anderem eine Registrierung für Drohnenbetreiber, die Fernidentifikation von Drohnen und eine neue Gewichtslimite von 25 Kilogramm zur Folge gehabt hätte, wurde durch die eidgenössischen Räte durch die Annahme der Motion 20.3916 «Ausnahme des Modellflugs von der EU-Drohnenregelung» vorerst ausgesetzt.

²⁶ Vgl. Bundesgesetz über die Luftfahrt vom 21. Dezember 1948 (Luftfahrtgesetz, LFG, SR 748.0).

²⁷ Vgl. Verordnung über die Wahrung der Lufthoheit (VWL, SR 748.111.1).

²⁸ Vgl. Art. 91 Abs. 1 LFG (SR 748.0).

²⁹ Vgl. Art. 237 Ziff. 1 Schweizerisches Strafgesetzbuch vom 21. Dezember 1937 (SR 311.00).

³⁰ Vgl. Art. 19 VLK (SR 748.941).

³¹ International: Safety

³² International: Security

³³ Darin vertreten sind Vertreter von kantonalen Polizeikörpers, von Stadtpolizeien und dem Bundesamt für Polizei (fedpol); daneben Vertreter des BAKOM, des BAZL, des BAZG, der armasuisse, der Militärflugwaffenbehörde, des Kommando Operationen (Luftwaffe und militärischer Nachrichtendienst) sowie der Führungsunterstützungsbasis der Armee.

³⁴ Dies beinhaltet zum Beispiel die Messung und Analyse von Drohnensignaturen. Drohnen zeigen nämlich gewisse typische Charakteristiken, wenn sie mit Sensoren erfasst werden. Das Anlegen einer Signaturenbibliothek – zum Beispiel aus dem Radar-, dem Infrarot- oder dem Funkfrequenzspektrum – für ein bestimmtes Abwehrsystem erlaubt die einfachere Identifikation.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Verschiedene Polizeikorps haben überdies Fachgruppen gebildet, die sich mit der Weiterentwicklung von Drohnen und ihrer Abwehrsysteme sowie mit Konzepten zum Umgang damit befassen. Auch die Armee verfügt im Rahmen konkreter Beschaffungsvorhaben über solche Projektgruppen.

3.3.2 Alltag

Drohnen als Bedrohung

Mikro-, Mini- und Klein-Drohnen können im Alltag stören und belästigen (durch Lärm oder durch die Verletzung der Privatsphäre) sowie zur Aufklärung eingesetzt werden; zum Beispiel im Rahmen von verbotenem Nachrichtendienst. Ferner werden sie für kriminelle Handlungen wie Drogenschmuggel verwendet. Sie eignen sich wegen ihrer Echtzeitübertragung von Bilddaten auch für die Vorbereitung krimineller Handlungen, zum Beispiel zur Aufklärung oder Überwachung von Zielen. Nicht zuletzt können Drohnen zu terroristischen Zwecken missbraucht werden; insbesondere grössere Mini-Drohnen und Klein-Drohnen könnten auch mit Sprengstoff, Flüssigkeiten oder Gas bestückt werden.

Die Beurteilung des Verwendungszwecks einer Drohne wird sich zukünftig indes schwieriger gestalten. Es ist damit zu rechnen, dass sich in einigen Jahren nicht nur von Piloten und Pilotinnen gesteuerte Drohnen im Luftraum bewegen, sondern auch Drohnen, die Servicedienstleistungen verschiedener ziviler Unternehmen erbringen. Möglicherweise könnte hier in Zukunft ein System helfen, das die Fernidentifikation von Drohnen ermöglicht. Damit würden sich immerhin die kooperativen Drohnen bereits zu erkennen geben und könnten durch Software von anderen, unkooperativen Drohnen, getrennt auf einem Lagebild dargestellt werden. Vielfach wird die aktive Abwehr von Drohnen aber kaum nötig sein, weil es reicht, ihnen die Auftragserfüllung zu verwehren – zum Beispiel, indem sensible Objekte oder Informationen ihrer Sicht und ihrer möglichen Wirkung entzogen werden.

Zivile Sicherheitsorgane

Für die meisten Fälle von unerlaubten Drohnenflügen im Alltag ist die Polizei (inklusive der Militärpolizei) zuständig. Weil Abwehrkonzepte für Mikro-, Mini- und Klein-Drohnen noch immer relativ neu sind und sich aufgrund des hohen Entwicklungstempos laufend weiter verändern, sind sie aber noch längst nicht bei allen potenziell davon betroffenen Sicherheitsorganisationen etabliert.

Von den 30 grösseren Polizeikorps der Schweiz – die städtischen mitgezählt – verfügt 2021 nur eine Minderheit über Mittel, die von der Entdeckung bis zur Bekämpfung die Abwehr von Mikro- und Mini-Drohnen sicherstellen können – mit den beschriebenen technischen und konzeptionellen Abstrichen. Dazu gehören beispielsweise die Kantonspolizeikorps von Bern und Zürich.

Einige Korps verfügen ausschliesslich über Erfassungsfähigkeiten, weitere geben an, bei Bedarf die nötigen Mittel zu mieten. Damit ist insgesamt vor allem die Fähigkeit, bei spontanen Gesetzesverstössen einzugreifen, derzeit noch nicht weit verbreitet. Planbare Ereignisse – wie zum Beispiel der Schutz eines Grossanlasses oder einer Konferenz – können aber gut bewältigt werden.

Verschiedene Polizeikorps haben Fachgruppen gebildet, die sich mit der Weiterentwicklung der Drohnen und ihrer Abwehrsysteme befassen sowie mit Konzepten zum Umgang mit dieser Herausforderung. Sie verfügen auch über eigene Fähigkeiten im Drohnen- und Drohnenabwehreinsatz und können zu planbaren Einsätzen aufgebildet werden.

Das Bundesamt für Zoll und Grenzsicherheit (BAZG) verfügt über keine eigenen Drohnenabwehrmittel und sucht bei Bedarf nach einer externen Lösung. Für solche Einsätze ist jeweils eine Bewilligung des BAKOM nötig.

Private Sicherheitsfirmen

Derzeit möchten auch verschiedene private Sicherheitsfirmen die Abwehr von Mikro- und Mini-Drohnen anbieten. Die Mittel dazu sind auf dem Markt grundsätzlich verfügbar – mit den erwähnten Abstrichen. Sie unterliegen aber rechtlichen Einschränkungen: So sind vor allem abstrahlende Systeme

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

wie Radar oder gewisse funkbasierte Systeme zur Drohnenentdeckung für private Benutzer nicht erlaubt; dies gilt ebenfalls für Störsender. Zudem könnten solche Abwehrsysteme ein Risiko für Drohnen staatlicher Organisationen, zum Beispiel der Polizei, darstellen. Die Frage, inwiefern private Firmen solche Dienste anbieten dürfen, ist noch nicht abschliessend geklärt.

Die Armee und ihre Zusammenarbeit mit zivilen Behörden

Seit einiger Zeit besteht in der Armee ein Ausbildungskonzept für Armeeangehörige zum Umgang mit den Risiken und Gefahren durch Mikro- und Mini-Drohnen. Neben der Sensibilisierung steht die Kenntnis der Rechtsgrundlagen im Vordergrund, die wiederum als Basis für die Verhaltensregeln dienen. Die Armeeangehörigen sollen wissen, zu welchen Massnahmen sie berechtigt, beziehungsweise nicht berechtigt sind und diese anwenden können. Darüber hinaus besteht die Fähigkeit zur Abwehr von Mini-Drohnen derzeit in reduziertem Masse vor allem bei der Militärpolizei und den Formationen im Kommando Spezialkräfte.

Die Armee hat 2020 ein Projekt zur Abwehr von Mini-Drohnen gestartet, bei dem grundsätzlich der Eigenschutz im Vordergrund steht. Das zu beschaffende System soll fähig sein, Mini-Drohnen zu erfassen, verfolgen, identifizieren und – falls nötig – zu bekämpfen. Lediglich der Erfassung dient das sich in der Erarbeitung befindende Projekt zur Überwachung von Flugplatzperimetern, mit dem Gefährdungen am Boden und in der Luft rund um Militärflugplätze erkannt werden sollen. Flugplatzperimeter-Überwachungssysteme werden auch benötigt, um zivile Flughäfen zu schützen. In der zivilen Luftfahrt stehen für solche Anwendungen jedoch nicht ausreichend Radarfrequenzen zur Verfügung. Daher müssen zivile und militärische Behörden eng zusammenarbeiten, damit Drohnen an Flughäfen erfasst werden können. Dies gilt aufgrund der beschränkt verfügbaren Frequenzressourcen ganz allgemein für den Schutz kritischer Infrastrukturen.

Angriffe mit Drohnen im Alltag, zum Beispiel zu terroristischen Zwecken, dürften eine Verletzung der Lufthoheit darstellen. Die Wahrung der Lufthoheit ist eine Aufgabe der Armee³⁵. Allerdings sind Massnahmen durch die Luftwaffe – etwa die Intervention – gegen Drohnen im Alltag derzeit kaum praktikabel, weil der Waffeneinsatz gegen zivile Luftfahrzeuge nur bei eingeschränktem Luftverkehr erlaubt ist und mit Drohnen im Flug (anders als bei bemannten Flugzeugen) kein Kontakt aufgenommen werden kann. Ausnahmen bilden Fälle von Notwehr und Notstand.

Anders liegt der Fall, wenn der Bundesrat eine Flugbeschränkungs- oder Flugverbotszone anordnet. Damit kann er mit Rücksicht auf die öffentliche Ordnung und Sicherheit oder aus militärischen Gründen die Benützung des schweizerischen Luftraums zeitweise einschränken oder verbieten; dies geschieht zum Beispiel während der Treffen des World Economic Forum (WEF). Solche Massnahmen werden im Vorhinein angekündigt und von den Sicherheitskräften vorbereitet. Der Einflug in eine solche Zone ist dann nur mit der Einwilligung der Luftwaffe gestattet, die zudem auch Waffen gegen Luftfahrzeuge – und damit auch gegen Drohnen – einsetzen darf³⁶.

Hat der Bundesrat eine Flugbeschränkungs- oder Flugverbotszone erlassen, entscheidet die Armee über Massnahmen zur Verstärkung des Luftpolizeidienstes³⁷. Um im unteren Luftraum ein besseres Lagebild zu erhalten, verfügt die Armee über Formationen des Lehrverbands Fliegerabwehr. Diese können innerhalb der definierten Zone Sensoren der bodengestützten Luftverteidigung einsetzen, ausserdem Effektoren der bodengestützten Luftverteidigung zum Schutz von Objekten auf kurze Distanz.

In dieser Situation könnten von Terroristen Mini-Drohnen und Klein-Drohnen zum Einsatz gebracht werden; möglicherweise auch Angriffsdrohnen, die sich ins Ziel stürzen. Wird diese Art von Drohnen in der genannten und öffentlich gemachten Flugverbotszone eingesetzt, muss folglich von einer böswilligen Absicht des Piloten oder der Pilotin ausgegangen werden. Obwohl die genannten Drohnen

³⁵ Vgl. VWL (SR 748.111.1).

³⁶ Vgl. Art. 92a des Bundesgesetzes über die Armee und die Militärverwaltung vom 3. Februar 1995 (Militärgesetz, MG, SR 510.10).

³⁷ Ein Flugbeschränkungsgebiet ist ein Luftraum mit festgelegten Abmessungen, in welchem der Flug von Luftfahrzeugen aufgrund bestimmter Bedingungen eingeschränkt ist; die Benützung eines Flugbeschränkungsgebiets bedarf einer Bewilligung der Luftwaffe. Ein Flugverbotsgebiet ist ein Luftraum mit festgelegten Abmessungen, in dem der Flug von Luftfahrzeugen verboten ist.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

unter diesen Umständen von der bodengestützten Luftverteidigung bekämpft werden dürften, gilt selbstverständlich weiterhin das Prinzip der Verhältnismässigkeit, weshalb bei einer Bekämpfung besonders auch der potenzielle Kollateralschaden mitbedacht werden muss.

Als Beispiel: Treffen des World Economic Forum (WEF) in Davos

Während der Treffen des World Economic Forum (WEF) in Davos wird in enger Abstimmung und mit einer Bewilligung des BAKOM durch die beteiligten Polizeikorps jeweils ein Verbund von Systemen für den ganzen Zyklus von der Erfassung bis zur Bekämpfung von Mikro- und Mini-Drohnen eingesetzt und zwar sowohl am Flughafen Zürich wie auch in Davos. Dies geschieht – insbesondere am Flughafen Zürich – in einem stark beanspruchten Luftraum, weshalb die Drohnenabwehrsysteme sehr genau auf ihre Umgebung eingestellt werden müssen. Da keine Radarfrequenzen für solche Sensoren zur Verfügung stehen, erzeugt dies einen hohen Koordinationsaufwand, weil diese zeitlich und örtlich beschränkten Systeme mit den permanent verwendeten Systemen der Flugsicherung am Flughafen abgestimmt werden müssen. Als Haupterkenntnis bisheriger Einsätze gilt, dass der Mensch bei dieser Art von Abwehr noch immer zentral und die Zusammenführung von Sensordaten zu einem einzigen Lagebild zwingend ist.

Während der Konferenz ist der Luftraum über Davos gesperrt; die Luftwaffe kontrolliert folglich diese Flugverbotszone. Dazu werden – im Verbund mit Kampfflugzeugen – auch Mittel der bodengestützten Luftverteidigung eingesetzt; gegenwärtig die mobile Fliegerabwehrkanone, die in den dazugehörigen Sensorverbund integriert ist. Sie ist befähigt, unter anderem gegen taktische Drohnen zu wirken.

3.3.3 Spannungen

Auch während Spannungen dürfte die Einsatzverantwortung für die Drohnenabwehr ähnlich wie im Alltag wohl grösstenteils bei den kantonalen Polizeikorps liegen.

Im Falle von Spannungen kann der Bundesrat laut Artikel 7 des Luftfahrtgesetzes – ähnlich wie beim Konferenzschutz – im Interesse der öffentlichen Ordnung und Sicherheit oder aus militärischen Gründen eine Einschränkung des Luftverkehrs verfügen. Eine solche Einschränkung oder gar ein generelles Verbot zur Benützung des Luftraumes kann zeitlich-örtlich begrenzt oder uneingeschränkt für den gesamten schweizerischen Luftraum angeordnet werden. In diesem Fall käme grundsätzlich ein Regime zur Anwendung, wie es für die WEF-Jahrestreffen beschrieben wurde. Zusätzlich könnten Angriffe mit Klein-Drohnen oder taktischen Drohnen, auch mit Angriffsdrohnen, durchgeführt werden, die zu den Zielkategorien der bodengestützten Luftverteidigung gehören.

Weil diese Phase von Uneindeutigkeit geprägt sein dürfte, ist ein möglichst gesichertes Luflagebild, in dem gegnerische Luftfahrzeuge frühzeitig erkannt werden, von zentraler Bedeutung. Dabei wirken die Mittel der bodengestützten Luftverteidigung und Kampfflugzeuge im Verbund. Mit Kampfflugzeugen lassen sich zum Beispiel gegnerische Drohnenaktivitäten über bestimmten Landesteilen aufklären. Die bodengestützte Luftverteidigung ist demgegenüber eher statisch ausgerichtet, sie kann über mehrere Wochen konstant Schlüsselräume überwachen. Die Daten einer Vielzahl verschiedener radargestützter, optischer und elektromagnetischer Sensoren werden fusioniert, und sowohl den Piloten oder die Pilotin als auch Führungssystemen am Boden zur Verfügung gestellt.

Mittel der bodengestützten Luftverteidigung werden in dieser Lage zum Schutz einzelner Objekte oder Objektgruppen auf kurze Distanz eingesetzt; dabei kann es sich um kritische Infrastruktur oder um Objekte der Armee handeln. Im Rahmen von aktiven luftpolizeilichen Massnahmen können Verbände der bodengestützten Luftverteidigung auch gegen taktische Drohnen wirken. Um auch gegen andere moderne Bedrohungen wie Marschflugkörper und Angriffsdrohnen wirken zu können, sollen zu Beginn der 2030er-Jahre je ein System bodengestützter Luftverteidigung mittlerer Reichweite und kleinerer Reichweite diese Aufgaben übernehmen. Sie würden auf rund 20–25 Kilometer bis in den mittleren Luftraum (3000 bis 8000 Meter über Meer), respektive im unteren Luftraum bis circa 3000 Meter auf etwa drei bis vier Kilometer wirken können. Mit dieser Verteidigungsarchitektur sich überlappend

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Wirkungen ist es möglich, abgestuft und angemessen auf verschiedene Arten von Bedrohungen aus der Luft zu reagieren; schnelle, tieffliegende und daher schwierig zu erfassende Marschflugkörper würden ebenso erfasst wie höherfliegende Drohnen, die Lenkwaffen tragen.

Sollte sich der Spannungsgrad erhöhen, kann das System bodengestützter Luftverteidigung mittlerer Reichweite insbesondere die Marschflugkörperabwehr übernehmen; es ist auch befähigt, gegen taktische Angriffsdrohnen zu wirken.

Darüber hinaus wirkt der Bezug eines Luftverteidigungsdispositivs mit Mitteln der bodengestützten Luftverteidigung grösserer Reichweite abhaltend gegenüber staatlichen Akteuren, die unter anderem taktische Drohnen, Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer³⁸, Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer und grosser Flughöhe³⁹ (alle auch als Waffenplattformen), Marschflugkörper und unbemannte Kampfflugzeuge einsetzen können.

3.3.4 Bewaffneter Konflikt

Auch in einem bewaffneten Konflikt dürften gewisse Arten von Drohnenabwehreinsätzen wie im Alltag den polizeilichen Kräften vorbehalten bleiben. Allerdings kann der Übergang aus einer möglicherweise längeren Phase von Spannungen in einen bewaffneten Konflikt überraschend erfolgen. Erstschläge könnten zum Beispiel mit aus der Distanz abgefeuerten Waffen wie Marschflugkörpern oder – je nach Technologieniveau des Gegners – taktischen Angriffsdrohnen eingeleitet werden, weil staatliche Gegner ein Interesse daran haben, möglichst früh und bei möglichst wenig eigenen Verlusten wichtige Infrastruktur wie Flugplätze oder Kommandoposten auszuschalten. Danach muss mit der ganzen Palette an Bedrohungen aus der Luft gerechnet werden. Dazu gehören unter anderem Klein-Drohnen (auch für den Angriff), taktische Drohnen (auch bewaffnet, auch für den Angriff), Aufklärungsdrohnen mit grosser Reichweite (auch bewaffnet) und Aufklärungsdrohnen mit grosser Reichweite und grosser Flughöhe sowie langfristig unbemannte Kampfflugzeuge.

In der Luftverteidigung führen Kampfflugzeuge und die bodengestützte Luftverteidigung ihren Kampf grösstenteils im gleichen Raum aufeinander abgestimmt und ergänzen sich wechselseitig. Kampfflugzeuge der neusten Generation können mit weitreichenden Luft-Luft-Lenkwaffen über mehrere Dutzend Kilometer wirken. Sie wirken gegen grössere und höherfliegende Drohnen⁴⁰ abhaltend, weil ein Gegner diese zwar zu relativ geringen Kosten einsetzen kann, sie aber nur über schwache Selbstverteidigungsmöglichkeiten verfügen und daher nur mit wenig Aussicht auf Erfolg eingesetzt werden können.

Mit der geplanten Beschaffung eines Systems bodengestützter Luftverteidigung grösserer Reichweite wird die Schweizer Armee in naher Zukunft auch über die Möglichkeit verfügen, gegen Marschflugkörper, taktische Drohnen, Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer, Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer und grosser Flughöhe sowie gegen unbemannte Kampfflugzeuge im oberen und mittleren Luftraum zu wirken⁴¹.

Im unteren Luftraum verfügt die Armee derzeit nur noch über ein einziges System, das in beschränkter Weise gegen Drohnen wirken kann. Deshalb arbeitet die Armee an Konzepten zur Erneuerung der bodengestützten Luftverteidigung im unteren und mittleren Luftraum: Dabei soll das mit Radar und Lenkwaffen ausgerüstete System mittlerer Reichweite vornehmlich der Bekämpfung von Kampfflugzeugen und taktischen Drohnen auf mittlere Distanzen und in mittleren Höhen (also auf 20-25 Kilometer und bis zwischen 3000 und 8000 Meter über Meer) dienen. Das System kleinerer Reichweite würde neben Radar vor allem über nicht-abstrahlende elektro-optische Sensoren verfügen, die eine gegnerische Aufklärung deutlich erschweren. Neben Lenkwaffen kurzer Reichweite zur Bekämpfung

³⁸ International: Medium altitude, long endurance (MALE).

³⁹ International: High altitude, long endurance (HALE).

⁴⁰ Wie Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer und Aufklärungsdrohnen mit grosser Verweildauer und grosser Flughöhe.

⁴¹ Zu den weiteren Zielen gehören bemannte Kampfflugzeuge und in einem begrenzten Mass auch ballistische Lenkwaffen.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

von Kampfhelikoptern, soll es gemäss heutiger Planung zudem über Flugabwehrkanonen mit entsprechend intelligenter Munition zur Bekämpfung insbesondere von Kleindrohnen für den Angriff verfügen.

3.4 Führen Drohnen zu einem Paradigmenwechsel in der Verteidigung?

Der zunehmende Einsatz von Drohnen – durch einen immer grösseren Anwenderkreis, der auch nichtstaatliche Akteure einschliesst – wird die Konfliktführung weiter verändern. Drohnen können sich zukünftig untereinander koordinieren und immer bessere Daten in grossen Mengen unter sich und mit Bodenkontrollstationen austauschen. Von Drohnen übermittelte Echtzeitdaten werden die Lagebilder bis auf die unterste taktische Stufe ergänzen und verbessern, womit Gegner und ihre Absichten tendenziell früher erkannt werden können. Bewaffnete Drohnen können zudem erkannte Ziele direkt bekämpfen und anschliessend mit ihren Sensoren den Erfolg des Angriffs überprüfen. Heutige und zukünftige Drohnen sind ein eigentliches Produkt der Digitalisierung. Ihre grösste Wirkung entfalten sie durch die Möglichkeiten der Informationsgewinnung und die Beschleunigung aller Informationsprozesse: Der ganze Zielbekämpfungsprozess erfolgt durch ein und dieselbe Trägerplattform, gewonnene Daten stehen unmittelbar und ohne Medienbruch allen vernetzten Teilnehmern zur Verfügung. Damit beschleunigt sich das Operationstempo. Je mehr Drohnen eingesetzt werden, desto stärker kommen diese Wirkungen der Digitalisierung zum Tragen. Diese dürften mit dem Einsatz von Drohnenschwärmen noch zunehmen. Damit ergeben sich auch Auswirkungen auf die Art und Weise, *wie* in Zukunft gekämpft wird. Militärische Formationen werden viel eher damit rechnen müssen, unbemerkt aus der Luft aufgeklärt und danach überraschend bekämpft zu werden – wobei der psychologische Aspekt dieser potenziell ständigen Bedrohung ebenfalls ins Gewicht fällt. Deshalb werden sich Doktrin wie auch Organisation und Struktur von Truppen anpassen müssen. Derzeit ist allerdings noch schwierig abzuschätzen, wie diese Veränderungen aussehen werden.

Neben Schwarmangriffen von Angriffsdrohnen, wird es zudem möglich sein, Drohnen mit bemannten Kampfflugzeugen zusammen einzusetzen. Dabei führt der Pilot oder die Pilotin des Kampfflugzeuges die Drohnen⁴². Gefährliche Missionen (wie zum Beispiel die Bekämpfung der gegnerischen bodengestützten Luftverteidigung) würden also von den Drohnen durchgeführt, während der Pilot oder die Pilotin im Kampfflugzeug in sicherer Distanz den Einsatz leitet und überwacht⁴³.

Allerdings sind bewaffnete militärische Drohnen schon seit über 25 Jahren über den Konfliktfeldern dieser Welt präsent, der erste Angriff einer bewaffneten Drohne erfolgte durch die USA im Jahre 2001 in Afghanistan – er hat keinen Paradigmenwechsel ausgelöst. Die technologischen Trends der Entwicklung sind weitgehend bekannt und eigentliche technologische Durchbrüche nach heutigem Kenntnisstand nicht zu erwarten. Auch neuere sicherheitspolitische Analysen stützen die Annahme nicht, dass sich die Konfliktführung komplett ändert: Drohnen stellen vielmehr ein weiteres Mittel im Arsenal der Luftkriegsführung dar. So verschafften zwar im Kaukasus-Krieg 2020 Angriffsdrohnen und bewaffnete Drohnen den aserbaidischen Streitkräften einen Vorteil. Dabei muss aber der Kontext des Konflikts betrachtet werden: Es traten zwei Streitkräfte mit sehr kleinen Luftwaffen gegeneinander an, die über lediglich je 10–20 Kampfflugzeuge verfügten und Bodenziele nur mit un gelenkten Waffen bekämpfen konnten. Während Aserbaidschan jedoch seit spätestens 2008 in moderne taktische und MALE-Drohnen investiert hat, blieben die armenischen Streitkräfte schlecht ausgerüstet, unzureichend ausgebildet und schienen nicht auf einen unmittelbar drohenden Krieg vorbereitet. Ihre Luftverteidigungssysteme stammten zum Beispiel noch aus der Sowjetzeit und waren gegen die damals vorherrschenden Bedrohungen ausgerichtet. Sie sind zwar heute noch durchaus effektiv gegen bemannte Kampfflugzeuge, hatten aber Mühe mit der Erfassung der kleinen, langsamen Drohnen. Diese Schwäche haben die aserbaidischen Streitkräfte erkannt und ausgenutzt. Damit haben die Drohneneinsätze der aserbaidischen Armee zwar deren Schlagkraft erhöht, was den Krieg

⁴² International: Manned-Unmanned Teaming

⁴³ So zum Beispiel durch das System FCAS (Future Combat Air System), an dem Deutschland, Frankreich und Spanien beteiligt sind, oder TEMPEST, das von Grossbritannien vorangetrieben wird und für das Italien, Japan und Schweden Interesse an einer Zusammenarbeit signalisiert haben.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

beschleunigt hat – sie waren letzten Endes aber nicht kriegsentscheidend. Armenien hätte auch ohne deren Einsatz kaum eine Chance gehabt, den Konflikt zu gewinnen. Dessen ungeachtet spielten in der öffentlichen Wahrnehmung die von Drohnen gefilmten und übers Internet verbreiteten Propagandaufnahmen der Angriffe eine grosse Rolle, nicht zuletzt psychologisch. Sie dürften auch dazu beigetragen haben, dass die militärische Bedeutung von Drohnen für den aserbaidzhanischen Sieg überschätzt wird.

Im nächsten grösseren bewaffneten Konflikt im Jahr 2020 zwischen Israel und den Palästinensern im Gaza-Streifen hatten Angriffsdrohnen hingegen wenig Bedeutung; und dies, obwohl die palästinensische Seite sie ebenfalls einsetzte. Für die sehr moderne und leistungsfähige bodengestützte Luftverteidigung Israels haben diese Drohnen kaum eine Herausforderung dargestellt. Deshalb bestand die Taktik der palästinensischen Seite darin, die israelische Luftabwehr mit einer Vielzahl kleiner und billiger Artillerieraketen zu sättigen und so die Abwehr vereinzelt zu durchbrechen – was nachweislich auch teilweise gelungen ist.

Auch im Ukraine-Krieg verfügen die Konfliktparteien über Drohnen. Ob und wie sie eingesetzt werden, kann zurzeit noch nicht fundiert beurteilt werden. Deshalb lassen sich noch keine Aussagen über ihre Bedeutung für den Kriegsverlauf machen.

Der Einsatz von Drohnen in einem Konflikt führt nicht zwangsläufig zum Erfolg. Entscheidend sind vielmehr die relativen technologischen und militärischen Fähigkeiten der Konfliktparteien sowie die Integration von Drohnen und Drohnenabwehr in ein integriertes, mehrschichtiges Verteidigungskonzept. Er setzt in der Regel zudem die von Kampfflugzeugen durchgesetzte Lufthoheit im Konfliktgebiet voraus⁴⁴, weil Drohnen sich nur unzureichend selber verteidigen können. Die Abwehr von taktischen und noch grösseren Drohnen stellt für eine modern ausgerüstete und gut ausgebildete Armee mit bodengestützter Luftverteidigung und Kampfflugzeugen in ausreichender Anzahl denn aktuell und in naher Zukunft auch keine wesentliche Herausforderung dar, weil beide ihren Anteil an der Bekämpfung leisten können und sich in ihrer Wirkung verstärken. Die Kombination beider Elemente ermöglicht eine nahezu permanente Luftraumüberwachung durch die Bodenelemente, während Kampfflugzeuge kurzfristig und flexibel Schwergewichte bilden. Zudem können sie die Infrastruktur gegnerischer Drohnen am Boden bekämpfen. Schwierigkeiten bereitet derzeit die Abwehr von kleineren Drohnenkategorien, im Konflikt insbesondere von Klein-Drohnen für den Angriff.

4 Schlussbetrachtung

Obwohl keine Durchbrüche in der Drohnentechnologie zu erwarten sind, dürfte die Geschwindigkeit ihrer Entwicklung weiter zunehmen. Zu erwarten ist, dass Drohnen in Zukunft länger in der Luft verweilen, grössere Distanzen zurücklegen, bessere Fähigkeiten zur Datenerfassung und -verarbeitung aufweisen, vernetzter sind und dabei autonom agieren können. Bereits absehbar sind neue Anwendungsfelder wie kommerzielle Drohnentransporte oder Angriffe durch Drohnenschwärme in Konflikten.

In der Schweiz befassen sich neben den staatlichen Behörden auch diverse Universitäten mit dem Thema der Drohnentechnologie. Darüber hinaus existiert eine tragfähige und innovative Industriebasis, welche die Entwicklung der Technologie aktiv mitprägt. Hier gilt es, die Chance zu nutzen und eine vertrauensvolle Zusammenarbeit auf hohem Niveau zu etablieren.

Es ist zu erwarten, dass die Entwicklung bei den militärischen Drohnen und den verwendeten Schlüsseltechnologien Einfluss auf die Art und Weise haben wird, wie zukünftige Konflikte geführt werden. Dank eines besseren Lagebilds bis auf die unterste taktische Stufe wird sich nicht zuletzt das Operationstempo eines Konflikts beschleunigen. Weil Truppen deshalb leichter aufgeklärt werden können, wird wohl die Doktrin, wahrscheinlich auch die Organisation und Struktur von Verbänden angepasst werden müssen.

⁴⁴ In absehbarer Zeit werden auch unbemannte Kampfflugzeuge diese Aufgabe nicht übernehmen können.

Die Sicherheit der Schweiz angesichts der Drohnentechnologie

Für die Drohnenabwehr sind die Kategorien der taktischen und grösseren Drohnen klassische militärische Ziele, die aufgrund ihres Flugverhaltens von Kampfflugzeugen und der bodengestützten Luftverteidigung gleichermassen bekämpft werden können. Lücken bestehen hingegen in der Abwehr von Mikro- und Mini-Drohnen. Gegenwärtig existiert weltweit kein System oder Systemverbund, das den ganzen Zielbekämpfungsprozess in hoher Qualität gewährleisten könnte; vieles befindet sich noch im Konzeptstadium. Um in der Abwehr solcher Drohnen dennoch Aussicht auf Erfolg zu haben, sollten heute existierende Sensoren und Effektoren wo immer möglich auf den Einsatz hin kombiniert werden, um eine tragfähige Abwehrarchitektur zu erhalten. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit zwischen den Sicherheitsbehörden Polizei und Armee einerseits, sowie dem BAKOM und dem BAZL (inklusive Skyguide) andererseits. Dabei stellt das hohe Kollateralschadenpotenzial solcher Lösungen nach wie vor eine grosse Herausforderung dar.

Allerdings ist die Drohnenabwehr nicht nur für die Schweiz eine Herausforderung, sondern für alle damit beschäftigten Staaten. Zuverlässige Abwehrsysteme sind weltweit noch in der Versuchsphase und noch nicht einsatztauglich oder marktfähig.

Zudem wird der Einsatz von Drohnen durch nichtstaatliche Akteure zunehmen. Auch dies ist eine Herausforderung, die nicht nur die Schweiz, sondern auch andere Staaten beschäftigt. Die Schweiz unterstützt einen intensiveren Austausch und eine stärkere Zusammenarbeit in der Drohnenabwehr auf internationaler Ebene.