



*Markus Christen, Michel Guillaume,
Maximilian Jablonowski, Peter Lenhart und Kurt Moll*



Zivile Drohnen – Herausforderungen und Perspektiven

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

This work is licensed under creative commons license
CC BY-NC-ND 2.5 CH.



Coverabbildungen:

© Created by Zirconicusso – Freepik.com (linkes Bild)

© iStock.com – nullplus (rechtes Bild)

© 2018 vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

ISBN 978-3-7281-3893-4 (Printausgabe)

Download open access:

ISBN 978-3-7281-3894-1 / DOI 10.3218/3894-1

www.vdf.ethz.ch

verlag@vdf.ethz.ch

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	11
Zusammenfassung	13
Executive Summary	17
Résumé	20
Riepilogo	24
1. Einleitung	29
1.1 Projektauftrag und Zielsetzung	29
1.1.1 Auftrag	29
1.1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit	31
1.1.3 Zielgruppe	32
1.2 Eingrenzung der Fragestellung	34
1.3 Methodologie	35
2. Faktenbasis	37
2.1 Der Begriff «Drohne»	37
2.1.1 Das Problem der Begriffsdefinition	37
2.1.2 Technische Charakteristika unbemannter Fluggeräte	39
2.1.3 Der Begriff «Drohne» im Schweizer Recht	43
2.1.3.1 Keine Definition im Luftverkehrsrecht	43
2.1.3.2 Unterschiedliche Verständnisse verschiedener Akteure	44
2.1.4 Der Begriff «Drohne» im internationalen Kontext	46
2.1.5 Mögliche Entwicklungen im Bereich Begriffsfassung	48
2.1.6 Fazit zur Begriffsbestimmung	50
2.2 Einbindung von Drohnen in den Luftraum und den Luftverkehr	51
2.2.1 Der Schweizer Luftraum	51
2.2.1.1 Kontrollierter Luftraum	53
2.2.1.2 Unkontrollierter Luftraum	56

2.2.1.3	Mögliche Operationsgebiete von Drohnen	57
2.2.2	Flugbetriebsverfahren	58
2.2.2.1	Sichtflug (VFR)	58
2.2.2.2	Instrumentenflug (IFR)	59
2.2.2.3	Betrieb von Drohnen in direktem Sichtkontakt (VLOS)	60
2.2.2.4	Betrieb von Drohnen ohne direkten Sichtkontakt (BVLOS)	63
2.2.3	Kollisionsschutzsysteme	64
2.2.4	Entwicklung eines Verkehrsmanagementsystems für Drohnen ...	66
2.2.5	Fazit zur Luftraumintegration von Drohnen	71
2.3	Schlüsseltechnologien für Drohnen	72
2.3.1	Übersicht	72
2.3.2	Flugregelung, Automatisierung und künstliche Intelligenz	73
2.3.3	Energieversorgung	75
2.3.4	<i>Detect and avoid</i> im Zusammenhang mit BVLOS	77
2.3.5	Fazit	79
2.4	Einsatzformen und Anwendungsbereiche von Drohnen	80
2.4.1	Übersicht	80
2.4.2	Detaillierte Diskussion von ausgewählten Anwendungsfeldern ...	84
2.4.2.1	Bau und Unterhalt	84
2.4.2.2	Behördlicher Einsatz	86
2.4.2.3	Humanitäre Operationen	87
2.4.2.4	Nutzung von Drohnen zu Forschungszwecken	88
2.4.2.5	Landwirtschaft	90
2.4.2.6	Medien und Unterhaltung	91
2.4.2.7	Transportwesen	92
2.4.2.8	Vermessungs- und Überwachungswesen	95
2.4.3	Illegale Nutzung	96
2.4.3.1	Massnahmen gegen die illegale Nutzung von Drohnen	99
2.5	Wirtschaftliche Möglichkeiten und Grenzen	100
2.5.1	Formen der wirtschaftlichen Nutzung von Drohnen	100
2.5.2	Status der Drohnenindustrie	104
2.5.2.1	Status der internationalen Drohnenindustrie	104

2.5.2.2	Status der Schweizer Drohnenindustrie	106
2.5.3	Abschätzung der zukünftigen Entwicklung	115
2.6	Technische Sicherheit und Umweltschutz	118
2.6.1	Technische Sicherheit	118
2.6.1.1	Risiken für andere Luftraumteilnehmer	119
2.6.1.2	Ausfall- und Unfallrisiken	120
2.6.1.3	Zwischenfazit	123
2.6.2	Umweltschutz	123
2.6.2.1	Lärmbelastung	124
2.6.2.2	Störung von und Stressquelle für Tiere	125
2.6.2.3	Zwischenfazit	128
2.7	Rezeption von Drohnen in der Literatur und den Medien	129
2.7.1	Quantitative Auswertung von Fachzeitschriften	129
2.7.1.1	Methode	129
2.7.1.2	Resultate	130
2.7.1.3	Qualitative Analyse	133
2.7.2	Inhaltsanalyse der Schweizer Presse	136
2.7.2.1	Methode	136
2.7.2.2	Resultate	139
3.	Regulation	143
3.1	Einleitung	143
3.2	Übersicht über die relevanten regulatorischen Bereiche	145
3.3	Analyse der einzelnen Regulierungsbereiche	146
3.3.1	Technische Sicherheit und Haftung	146
3.3.1.1	Regulierungsobjekt	146
3.3.1.2	Schweizerische Regulierung	147
3.3.1.3	Haftungsaspekte	152
3.3.1.4	Internationale Aspekte	154
3.3.1.5	Zwischenfazit	157
3.3.2	Persönlichkeits- und Datenschutz	158
3.3.2.1	Regulierungsobjekt	159
3.3.2.2	Schweizerische Regulierung	160
3.3.2.3	Internationale Aspekte	163
3.3.2.4	Zwischenfazit	164

3.3.3	Eigentums- und Besitzschutz	165
3.3.3.1	Regulierungsobjekt	165
3.3.3.2	Schweizerische Regulierung	166
3.3.3.3	Internationaler Bereich.....	169
3.3.3.4	Zwischenfazit	169
3.3.4	Gesetzliche Grundlage und Zonenkonformität	170
3.3.4.1	Regulierungsobjekt	170
3.3.4.2	Schweizerische Regulierung	171
3.3.4.3	Internationale Aspekte	171
3.3.4.4	Zwischenfazit	172
3.3.5	Gemeingebrauch und gesteigerter Gemeingebrauch	172
3.3.5.1	Regulierungsobjekt	172
3.3.5.2	Schweizerische Regulierung	173
3.3.5.3	Internationale Aspekte	173
3.3.5.4	Zwischenfazit und Empfehlung.....	173
3.3.6	Umweltschutz	174
3.3.6.1	Regulierungsobjekt	174
3.3.6.2	Schweizerische Regulierung	174
3.3.6.3	Internationale Aspekte	176
3.3.6.4	Zwischenfazit	177
3.3.7	Übrige Regulation	177
3.4	Politische Aktivitäten.....	177
3.4.1	Relevante Vorstösse im schweizerischen Parlament.....	177
3.4.2	Zwischenfazit	180
4.	Strategische Bedeutung	183
4.1	Stakeholder-Analyse	183
4.1.1	Identifizierung der Stakeholder	183
4.1.2	Methodologie der Befragung	186
4.1.2.1	Konzeption der Befragung	186
4.1.2.2	Angesprochene Stakeholder	186
4.1.2.3	Aufbau der ersten Umfrage	188
4.1.2.4	Aufbau der zweiten Umfrage	189
4.1.3	Resultate Schritt 1	190
4.1.3.1	Persönliches Verhältnis zu Drohnen	190

4.1.3.2	Einschätzung der Akzeptanz und Verbreitung von Drohnen	191
4.1.3.3	Einschätzung der Chancen und Risiken von Drohnen.....	196
4.1.3.4	Förderung der Drohnentechnologie	199
4.1.3.5	Fragen zu rechtlichen Aspekten	200
4.1.4	Resultate Schritt 2	202
4.1.4.1	Bedeutung der militärischen Nutzung von Drohnen für deren Image	203
4.1.4.2	Zukünftige Verbreitung der Drohnentechnologie.....	204
4.1.4.3	Bedeutung von Natur-/Umweltschutz für das Image und die Verbreitung von Drohnen	204
4.1.4.4	Nutzung von Drohnen im urbanen Raum.....	206
4.1.4.5	Risiken der Nutzung von Drohnen	206
4.1.4.6	Wirtschaftliche Bedeutung von Drohnen	207
4.1.4.7	Einsatzformen von Drohnen	209
4.1.4.8	Integration von Drohnen in das bestehende Luftraumsystem....	210
4.1.4.9	Regulierung von Drohnen.....	211
4.1.4.10	Nationale Testgebiete für Drohnen	212
4.2	Festlegung des Spielraums für Empfehlungen	213
4.2.1	Übersicht.....	213
4.2.2	Nur indirekt beeinflussbare Voraussetzungs-faktoren.....	215
4.2.3	Beeinflussbare Steuerfaktoren	216
4.2.3.1	Rechtsbegriff.....	216
4.2.3.2	Luftraumeinbindung	217
4.2.3.3	Förderung im Bereich ziviler Drohnen	218
4.2.3.4	Spezifische Drohnenregulierung	219
4.2.4	Resultatfaktoren	220
5.	Empfehlungen.....	221
5.1	Priorisierte Empfehlungen	221
5.2	Strukturierung des Stakeholder-Dialogs	225
5.3	Forschungsbedarf	227
	Literaturverzeichnis.....	229
	Verzeichnis der (relevantesten) Rechtsquellen	245
	Mitglieder der Begleitgruppe.....	249
	Mitglieder der Projektgruppe / Projektmanagement	250

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erscheinungsformen von Drohnen	40
Abbildung 2: Bestehende Vorschläge zum Drohnenbegriff	48
Abbildung 3: Luftraumstruktur der FIR Switzerland	52
Abbildung 4: Erkennbarkeit von Drohnen auf Sicht	61
Abbildung 5: Elemente eines Verkehrsmanagementsystems für Drohnen	68
Abbildung 6: Prognose der Anzahl Drohnen aus FAA Aerospace Forecast	105
Abbildung 7: Umsatzschätzung des globalen Drohnenmarktes	116
Abbildung 8: Anteil der pro Jahr publizierten Beiträge zu Drohnen	131
Abbildung 9: Geografische und thematische Verteilung der publizierten Drohnenliteratur	132
Abbildung 10: Thematische Verteilung der Beiträge in Schweizer Medien	139
Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung der Hauptgruppen der Beiträge in Schweizer Medien	140
Abbildung 12: Vergleich Themengruppen deutsch- und französischsprachige Schweiz	141
Abbildung 13: Von der EASA vorgeschlagene Kategorisierung	156
Abbildung 14: Vertikale Grenzen des Grundeigentums	167
Abbildung 15: Einschätzung der wichtigsten Entwicklungen	192
Abbildung 16: Einschätzung der Akzeptanz und der Verbreitung von Drohnen	193
Abbildung 17: Einschätzung Akzeptanz und Verbreitung für definierte Anwendungen	194
Abbildung 18: Einschätzung technischer Massnahmen für die Förderung der Verbreitung von Drohnen und deren Integration in den Luftraum	195
Abbildung 19: Einschätzung von Chancen der Drohnentechnologie	197

Abbildung 20: Einschätzung der Bedeutung der Drohnentechnologie für die Schweizer Wirtschaft	198
Abbildung 21: Einschätzung von Risiken der Drohnentechnologie	199
Abbildung 22: Einschätzung der Fördermöglichkeiten für Drohnen	200
Abbildung 23: Einschätzung des Regulationsbedarfs	201
Abbildung 24: Einschätzung der Entwicklung der Regulation	202
Abbildung 25: Anwendungsformen, gezeigt wird die Rangfolge der erwarteten Flugstunden	209
Abbildung 26: Arten von Faktoren, die primär als Voraussetzungen gelten und kaum steuerbar sind, direkt beeinflussbare Steuerfaktoren und daraus sich ergebende Resultatfaktoren	214

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eine mögliche Klassifizierung von Drohnen nach Gewicht	41
Tabelle 2: Luftraumklassen der FIR Switzerland und ihre Eigenschaften bzw. Eignung für Drohnen	53
Tabelle 3: Regulierungen in ausgewählten europäischen Staaten	57
Tabelle 4: Auswahl von Schweizer Unternehmen im Drohnenmarkt	108
Tabelle 5: Vergleich der Ausfälle von Drohnen und Flugzeugen pro 100'000 Flugstunden	121
Tabelle 6: Gründe für Ausfälle von Drohnen	122
Tabelle 7: Für die Umfrage angegangene Stakeholder	187
Tabelle 8: Mögliche Elemente eines Ausbildungsprogramms für Drohnenpiloten.....	224

Zusammenfassung

Drohnen gehören zu den bedeutenden technologischen Innovationen der vergangenen zehn Jahre und eröffnen neue, bislang unbekannte Perspektiven in zahlreichen Anwendungsfeldern. Ursprünglich für militärische Überwachungs- und Kampfzwecke eingesetzt, werden Drohnen mittlerweile auch im zivilen Bereich verwendet: Luftaufnahmen, Überwachung von Bauten und Infrastruktur, Landwirtschaft, humanitäre Hilfe, Freizeit und vieles mehr sind heute ebenso wichtige Nutzungszwecke. Durch die Forschung, die eine Miniaturisierung und Autonomisierung der Drohnen anstrebt, sowie die Verbreitung und kostengünstige Produktion relevanter Komponenten birgt die Technologie grosses Zukunftspotenzial mit zahlreichen Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft. Der vorliegende Bericht legt in konsolidierter Form Chancen und Risiken der Drohnentechnologie dar und zeigt Entwicklungspotenziale für die Schweizer Forschung und Wirtschaft auf.

In einem ersten Teil – der Faktenbasis – wird das vorhandene Wissen zu begrifflichen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten der Drohnentechnologie zusammengefasst und es erfolgen Einschätzungen zu künftigen Entwicklungen in diesen Bereichen. Dazu kommt eine Analyse der Rezeption von Drohnen in der internationalen Fachliteratur und in den Schweizer Medien (deutsch- und französischsprachige Schweiz). Als Kernelemente der Faktenbasis lassen sich folgende Punkte festhalten: Erstens existiert derzeit keine einheitliche, rechtlich anerkannte Definition des Begriffs «Drohne» und eine begriffliche Unterscheidung zwischen Modellluftfahrzeugen und Drohnen gestützt auf technische Spezifikationen erscheint nicht opportun. Zweitens stellen sich grössere technische Schwierigkeiten bei der Integration von Drohnen in das Luftverkehrssystem – insbesondere bezüglich «Detect and avoid»-Systemen –, sodass die Schaffung eines *Unmanned Air Traffic Management System* (U-Space) für die Koordinierung der unbemannten Luftfahrzeuge notwendig erscheint. Drittens werden Drohnen bereits für zahlreiche Einsatzmöglichkeiten genutzt (Bau und Unterhalt, behördlicher Einsatz, Forschung, humanitäre Operationen, Industrielogistik, Landwirtschaft, Medien und Unterhaltung, Natur- und Wildtier-Monitoring, Personentransport- und Zustellwesen, Vermessungs- und Kontrollwesen, Versicherungswesen) – viele Ideen befinden sich aber noch in einem frühen Stadium und es ist derzeit nicht klar, ob sich diese gegenüber den herkömmlichen Lösungen durchsetzen können; insbesondere auch in wirtschaftlicher Hinsicht. Viertens bestehen bezüglich technischer Sicherheit und Umweltschutz klare Hinweise auf relevante Risiken; es bedarf aber

noch weiterer Forschung, um den Umfang solcher Risiken und den Umgang damit besser abschätzen zu können. Fünftens schliesslich zeigt sich in der medialen Rezeption der Drohnen eine – allerdings abnehmende – Dominanz militärischer Themen; Deutschschweizer Medien betonen kritische Aspekte von Drohnen stärker, während das wirtschaftliche Potenzial der Drohnentechnologie in der Westschweiz – dem Standort des «Drone Valley» – ein grösseres Gewicht in der Berichterstattung erhält.

In einem zweiten Teil erfolgt eine Bestandsaufnahme und Bestimmung des einschlägigen Normierungsgehalts des geltenden Rechts in der Schweiz und auf internationaler Ebene betreffend Drohnen. Als zentrale Erkenntnis lässt sich hier festhalten, dass derzeit sämtliche Verfahren des Bundesamtes für Zivilluftfahrt zur Prüfung der technischen Sicherheit ziviler Drohnen auf Einzelfällen (mit Verfahrens- bzw. Bewilligungsdauern von teilweise mehreren Monaten) basieren, was angesichts der erkannten Bedeutung und Entwicklungsmöglichkeiten in diesem Bereich erstaunlich ist und sowohl das Legalitätsprinzip wie auch das Rechtsgleichheitsgebot übermässig strapaziert. Es wird im Zusammenhang mit der Prüfung der technischen Sicherheit national wie international ein risikobasierter Ansatz verfolgt, was grundsätzlich sinnvoll erscheint. In allen anderen betrachteten Rechtsbereichen (Persönlichkeits- und Datenschutz, Eigentums- und Besitzschutz, Zonenkonformität, Gemeingebrauch und gesteigerter Gemeingebrauch sowie Umweltschutz) bieten die geltenden Gesetze inhaltlich ausreichende Schutzbestimmungen im Zusammenhang mit den verschiedenen Nutzungsarten ziviler Drohnen. Ein Kernproblem ist indessen, dass aufgrund der bis heute meist fehlenden Identifikationsmöglichkeit ziviler Drohnen insbesondere in den Bereichen Persönlichkeits- und Datenschutz, Eigentums- und Besitzschutz sowie Umweltschutz Vollzugs- bzw. Durchsetzungsprobleme bestehen, die gelöst werden müssen.

In einem dritten Teil erfolgt eine strategische Beurteilung der Drohnentechnologie basierend auf den erhobenen Fakten und der Regulationsanalyse. Zentrales Element in dieser Beurteilung ist die Sammlung der Standpunkte der verschiedenen Akteure und Stakeholder bezüglich Chancen und Risiken ziviler Drohnen. Dazu wurde eine zweistufige Befragung durchgeführt, bei der 61 (erste Runde) bzw. 41 (zweite Runde) Fachpersonen ihre Meinung abgegeben hatten. Unter anderem ergab diese Studie, dass die Bevölkerung heute nach Ansicht der Experten der

Drohntechnologie gegenüber mehrheitlich eher kritisch eingestellt ist, aber dennoch mit einer starken Verbreitung von Drohnen bis ins Jahr 2025 gerechnet werden müsse. Die Nutzung von Drohnen zur Überwachung von Anlagen, für Luftaufnahmen sowie in der Landwirtschaft sind nach Ansicht der Experten die Gebiete mit dem grössten Entwicklungspotenzial, was mit den Einschätzungen der heute vorliegenden Studien zur Wirtschaftlichkeit der Technologie übereinstimmt. Als wichtigstes Risiko gilt nach Ansicht der Experten die Sicherheit anderer Luftraumnutzer, gefolgt von der Privatsphäre – letzteres Risiko wird aber bezüglich Akzeptanz durch die Bevölkerung als am zentralsten eingeschätzt. Die Schaffung eines eigenen *Unmanned Air Traffic Management* (U-Space) für zivile Drohnen ist nach Ansicht der Experten unabdingbar. In regulatorischer Hinsicht befürworten die Experten insbesondere Einschränkungen des Drohnengebrauchs in bestimmten, sensiblen Gebieten.

Basierend auf der Faktenbasis, Regulationsanalyse und strategischen Beurteilung sollten vier prioritäre Empfehlungen umgesetzt werden:

- 1) Erstens sollte für Drohnen ein transparenter Regulierungsrahmen geschaffen werden. Insbesondere die gesetzlichen Grundlagen für die sicherheitstechnische Beurteilung von zivilen Drohnen sind zur Wahrung der Gesetzmässigkeit und der Rechtsgleichheit anzupassen. Der Begriff «Drohne» ist – ohne ihn technisch von den Modellluftfahrzeugen abzugrenzen – im Regulativ einzuführen und die wesentlichen inhaltlichen Grundsätze des Bewilligungsregimes sollten auf Verordnungsstufe enthalten sein.
- 2) Zweitens sollten Forschungen und Stakeholder-Dialoge, die zur Schaffung eines Flugverkehrsmanagements für unbemannte Luftfahrzeuge (*Unmanned Traffic Management*; UTM/U-Space) beitragen, gefördert werden.
- 3) Drittens sollten gezielte regulatorische Anpassungen umgesetzt werden, um die Durchsetzbarkeit des geltenden Rechts zu verbessern. Dies betrifft die Einführung einer Registrierungspflicht und eine daran gekoppelte elektronische Identifikation, die Schaffung von Richtlinien für die Ausbildung von (insbesondere professionellen) Drohnenpiloten und Informationspflichten für Hersteller bzw. Händler/Importeure.
- 4) Viertens schliesslich sollte die Schweiz weiterhin aktiv an der internationalen Ausgestaltung der Drohnenregulierung mitwirken, dabei aber nicht EU-Vorschriften pauschal übernehmen, sondern durch sorgfältiges Ab-

wägen von Vor- und Nachteilen vorhandene Spielräume konsequent ausschöpfen, um das wirtschaftliche Potenzial der Drohnentechnologie bestmöglich zu nutzen.

Drei weitere Empfehlungen sollen zu einem besseren Umgang mit Chancen und Risiken der Drohnentechnologie beitragen. So sollte das 2017 gegründete *Aviation Research Center Switzerland* eine federführende Rolle im Stakeholder-Dialog zum Thema U-Space einnehmen. Weiter soll ein Gremium unter Einbindung aller relevanter Stakeholder geschaffen werden, das *Best Practices* zur Festlegung von Gebieten, die nicht beflogen werden dürfen, und den damit zusammenhängenden Verhaltensmassregeln definiert. Schliesslich soll ein nationales Testgelände zu Forschungszwecken etabliert werden, das auf die Unterstützung in Form von Förderung durch den Bund und Beteiligungen durch die Industrie zählen kann.

Executive Summary

Drones are one of the major technological innovations of the past ten years and open up new, previously unknown applications in numerous fields. Originally used in military surveillance and for combat purposes, drones are now also appearing in the civilian sector: Aerial photography, building surveillance and infrastructure, agriculture, humanitarian aid, recreation and much more are equally important application fields today. Through research aimed at miniaturising and autonomising drones, as well as disseminating and cost-effectively producing relevant components, the technology holds great potential for the future, with numerous effects on the economy and society. The report presents the opportunities and risks of drone technology in a consolidated form and highlights the associated development potential for Swiss research and industry.

Included in the first part, the factual basis of existing knowledge is collated about conceptual, technical and economic aspects of drone technology and an assessment of future developments in these areas is made. Included in this is an analysis of the reception of drones in both international specialist literature and Swiss media (German and French Switzerland). The following points were ascertained in terms of the main elements of the factual basis: Firstly, there is currently no single, legally accepted definition of «drone» and a conceptual distinction between model aircraft and drones based on technical specifications does not seem to be expedient. Secondly, there are significant technical difficulties in the integration of drones into the aviation system – particularly regarding «detect & avoid» systems – insofar as the creation of an *Unmanned Air Traffic Management System* (U-Space) for the coordination of unmanned aircraft appears to be necessary. Thirdly, drones are already being used for many purposes (construction and maintenance, governmental use, research, humanitarian operations, industrial logistics, agriculture, media and entertainment, nature and wildlife monitoring, transportation and delivery, surveying, control systems and insurance) – however, many ideas are still in their early stages and it is still unclear whether they can prevail over conventional solutions, especially from an economic viewpoint. Also, with regard to technical safety and environmental protection, there are clear indications of the relevant risks; further research is therefore needed to better assess the extent of such risks and how to handle them. Finally, media reaction to drones reveals a diminishing dominance of military topics; German-Swiss media more often emphasise the critical aspects

of drones, while the economic potential of drone technology in western Switzerland in «Drone Valley» attracts greater coverage in reporting.

Included in the second part are prevalent scenarios as well as the determination of applicable Swiss and international legal standards concerning drones. The key finding here is that all procedures currently undertaken by the Federal Office for Civil Aviation to test the technical safety of civilian drones are based on individual cases (with processing or approval periods of several months sometimes), which is astonishing given the recognised importance and development opportunities in this area as well as the legal principle and legal equality rights being excessively strained. A risk-based approach is being pursued both nationally and internationally, in connection with technical safety examination, which makes sense in principle. In all other legal areas considered (privacy and data protection, ownership and property protection, zone compliance, community use and increased community use as well as environmental protection), the applicable laws provide adequate protection in terms of content in terms of the various uses of civil drones. A core problem, however, is that due to the current lack of potential identification procedures for civilian drones, there are problems that need to be resolved especially in the areas of privacy and data protection, ownership and property protection as well as environmental protection and other enforcement.

Included in the third part is a strategic assessment of drone technology based on elevated factual and regulatory analysis. A central element in this assessment is the compilation of the positions of the various agents and stakeholders regarding the opportunities and risks of civilian drones. A two-stage survey took place for this purpose whereby 61 experts (first round) and 41 (second round) shared their opinions. Among other things, this study showed that the majority of the population today is rather critical, according to drone technology experts, which is expected to continue during strong drone growth up to 2025. According to experts, the use of drones to monitor plants and equipment, for aerial photography and agriculture are the areas where there is the greatest development potential, in line with economic assessments of studies available about the technology today. Experts maintain that the most important risk is the safety of other airspace users, followed by privacy - the latter, however, is considered to be the most central to public acceptance. The creation of a proprietary *Unmanned Air Traffic Management* (U-Space) system for civil drones is imperative. From a regulatory point of view,

experts were particularly in favour of restrictions on drone use in certain sensitive areas.

Based on the facts, regulatory analysis and strategic assessment, four recommendations should be implemented as a priority:

- 1) Firstly, a more transparent regulatory framework should be devised for drones. In particular, the legal basis for the safety-related assessment of civilian drones must be adapted to preserve legality and legal equality. The term «drone» – without technically differentiating it from model aircraft – should be introduced into regulation and the essential substantive principles of licensing regime should be included at ordinance level.
- 2) Secondly, research and stakeholder dialogue contributing to the creation of an aviation management system for unmanned aircraft (*Unmanned Traffic Management*; UTM/U-Space) is recommended.
- 3) Thirdly, targeted regulatory amendments should be implemented to improve the enforceability of existing legislation. This concerns the introduction of an obligation to register with linked electronic identification and the creation of guidelines for the training of (especially professional) drone pilots and information obligations for manufacturers and dealers/importers.
- 4) Finally, Switzerland should continue to be an active partner in the international drafting of drone regulation, but not adopt European rules as a whole but by careful consideration of the advantages and disadvantages of using existing scope consistently in order to best exploit the economic potential of drone technology.

Three additional recommendations are intended to contribute to better handling of the opportunities and risks of drone technology. Founded in 2017, *The Aviation Research Center Switzerland* sets out to play a leading role in stakeholder dialogue on U-Space. It is recommended that a panel also be set up involving all relevant stakeholders, defining best practices in the identification of areas where flying is prohibited and the related codes of conduct. Finally, for research purposes, a national test site should be established and underpinned by federal funding and industry involvement.

Résumé

Les drones comptent parmi les innovations technologiques les plus marquantes de ces dix dernières années. Ils ouvrent des perspectives jusqu'alors inconnues dans de nombreux domaines d'application. Utilisés à l'origine à des fins de surveillance militaire et de combat, les drones sont désormais également employés dans le domaine civil: photographies aériennes, surveillance de bâtiments et d'infrastructures, agriculture, aide humanitaire, loisirs et autres, font aujourd'hui partie des principaux usages. Grâce à la recherche, qui s'efforce de miniaturiser et d'automatiser les drones, ainsi qu'à la vulgarisation et la production à moindre coût des composants essentiels, cette technologie recèle un grand potentiel pour l'avenir, avec de nombreuses répercussions sur l'économie et la société. Le présent rapport, outre une présentation consolidée des opportunités et des risques découlant de la technologie des drones, détaille les potentiels de développement pour la recherche et l'économie suisses.

La première partie de ce rapport – la base factuelle – résume les connaissances disponibles sur les aspects conceptuels, techniques et économiques de la technologie des drones, puis est complétée par des estimations sur les évolutions futures dans ces domaines. S'y ajoute une analyse de l'image des drones dans la littérature internationale et dans les médias suisses (Suisse germanophone et francophone). Parmi les principaux éléments de cette base factuelle, on retiendra les points suivants: primo, il n'existe à l'heure actuelle aucune définition uniforme, reconnue sur le plan juridique, du terme «drone» et il ne semble pas opportun d'opérer une distinction conceptuelle entre les modèles réduits d'aéronefs et les drones sur la base de leurs spécifications techniques. Secundo, l'intégration des drones dans le système du trafic aérien pose de grosses difficultés techniques – en particulier, en ce qui concerne les systèmes «Detect & Avoid» –, si bien qu'il apparaît nécessaire de créer un *Unmanned Air Traffic Management System* (U-Space) pour la coordination des aéronefs sans pilote. Tertio, les drones sont déjà utilisés dans une grande variété d'applications (construction et entretien, usage administratif, recherche, opérations humanitaires, logistique industrielle, agriculture, médias et loisirs, surveillance de la faune et de la flore, transport des personnes et des livraisons, activités de mesure et de contrôle, assurances) – nombre d'idées se trouvent encore à un stade peu avancé et il n'est pas certain qu'elles pourront s'imposer face aux solutions traditionnelles, surtout d'un point de vue économique. Quarto, des éléments clairs concernant la sécurité technique et

la protection de l'environnement laissent supposer des risques importants; des recherches supplémentaires vont s'avérer nécessaires pour pouvoir mieux évaluer la portée de tels risques et leur gestion. Pour finir, et il s'agit là du cinquième point, le traitement médiatique des drones est largement dominé, même si la tendance s'inverse, par des thèmes militaires; en Suisse germanophone, les médias soulignent davantage les aspects critiques des drones, alors le potentiel économique de la technologie des drones occupe une place plus importante dans la couverture médiatique en Suisse romande, le site de la «Drone Valley».

Dans sa deuxième partie, ce rapport dresse un état des lieux et identifie le contenu normatif actuel des lois en vigueur en Suisse et au niveau international concernant les drones. Le constat majeur qui en découle est que toutes les procédures de l'Office fédéral de l'aviation civile se basent à l'heure actuelle sur l'examen de la sécurité technique des drones civils en se fondant sur des cas précis (avec parfois des durées de procédure ou d'approbation de plusieurs mois), ce qui est plutôt surprenant au regard de l'importance reconnue et des possibilités de développement dans ce domaine, et qui met par ailleurs à rude épreuve le principe de légalité et le principe de l'égalité devant la loi. En ce qui concerne l'examen de la sécurité technique, l'approche adoptée à l'échelon national, mais aussi international, est fondée sur les risques, ce qui semble globalement judicieux. Dans tous les autres domaines juridiques considérés (protection de la personnalité et des données, protection de la propriété et de la possession, conformité à la zone, usage et usage accru du domaine public ainsi que protection de l'environnement), les lois en vigueur contiennent suffisamment de dispositions de protection en rapport avec les différents usages des drones civils. Cependant, la question cruciale reste qu'il existe jusqu'à présent des problèmes d'exécution et de mise en œuvre en raison de l'absence de toute possibilité d'identification des drones civils, notamment dans les domaines de la protection de la personnalité et des données, la protection de la propriété et de la possession ainsi que la protection de l'environnement. Des problèmes qu'il conviendra de résoudre.

Dans sa troisième partie, ce rapport évalue la technologie des drones dans une perspective stratégique, en se basant sur les faits recueillis et l'analyse de la réglementation. Le recueil des opinions des différents acteurs et des diverses parties prenantes sur les opportunités et les risques des drones civils constitue l'élément clé de cette évaluation. Pour ce faire, une consultation en deux étapes a été organisée, dans le cadre de laquelle 61 spécialistes (premier tour), puis 41 (deuxième

tour) ont exprimé leur avis. Cette consultation dévoile entre autres que, selon les experts de la technologie des drones, la majorité de la population est aujourd'hui plutôt critique, mais doit s'attendre à une forte prolifération des drones jusqu'en 2025. La surveillance des installations, les photographies aériennes et l'agriculture représentent, toujours selon les experts, les domaines offrant le plus fort potentiel de développement pour l'utilisation des drones, ce qui concorde avec les estimations des études publiées sur la rentabilité de cette technologie. La sécurité des autres usagers de l'espace aérien est considérée par les experts comme le risque principal, suivi par la protection de la sphère privée – le dernier risque étant malgré tout estimé comme le plus grave pour ce qui est de l'acceptation par la population. De l'avis des experts, la création d'un système *Unmanned Air Traffic Management* (U-Space) dédié aux drones civils est indispensable. Sur le plan réglementaire, les experts préconisent notamment des restrictions de l'utilisation des drones dans certaines zones sensibles.

En s'appuyant sur la base factuelle, l'analyse de la réglementation et l'évaluation stratégique, quatre recommandations doivent être mises en œuvre en priorité:

- 1) Premièrement, il convient d'établir un cadre réglementaire transparent pour les drones. En particulier, les bases juridiques pour apprécier la sécurité technique des drones civils doivent être adaptées pour garantir la légalité et l'égalité devant la loi. Le terme «drone» – sans même le distinguer sur le plan technique des modèles réduits d'aéronefs – doit être introduit dans la législation et les principes matériels fondamentaux du régime d'autorisations doivent être repris par voie d'ordonnance.
- 2) Deuxièmement, les recherches et les discussions avec les parties prenantes doivent être encouragées, afin de contribuer à la création d'un système de gestion du trafic aérien pour les aéronefs sans équipage (*Unmanned Traffic Management* ou UTM / U-Space).
- 3) Troisièmement, des ajustements réglementaires ciblés doivent être appliqués dans le but d'améliorer le caractère exécutoire des lois en vigueur. Ce point concerne l'introduction d'une obligation réglementaire et de l'identification électronique y afférente, l'établissement de directives sur la formation des pilotes de drones (en particulier, des pilotes professionnels) et les obligations d'information des constructeurs ou revendeurs/importateurs.

- 4) Quatrièmement enfin, la Suisse doit continuer à participer activement à l'élaboration de la réglementation internationale sur les drones, sans se limiter à reprendre systématiquement les directives européennes, mais en utilisant les marges de manœuvre disponibles grâce à l'évaluation minutieuse des avantages et des inconvénients, afin d'exploiter au mieux le potentiel économique de la technologie des drones.

Trois autres recommandations doivent contribuer à une meilleure gestion des opportunités et des risques de la technologie des drones. L'*Aviation Research Center Switzerland* fondé en 2017 devra jouer un rôle de premier plan dans les discussions entre parties prenantes sur le thème de l'U-Space. En impliquant toutes les principales parties prenantes, il conviendra par la suite de créer une instance chargée de définir des *best practices* pour délimiter les zones interdites de survol et rédiger les codes de conduite correspondants. Pour finir, un site de test national devra être établi à des fins de recherche, lequel pourra compter sur le soutien de la Confédération et du secteur industriel sous forme d'encouragement et de participations.

Riepilogo

I droni sono tra le innovazioni tecnologiche più significative degli ultimi dieci anni e aprono nuove prospettive finora sconosciute in numerosi campi di applicazione. Impiegati originariamente per scopi di osservazione e combattimento militari, i droni vengono utilizzati ormai anche nell'ambito civile: fotografie aeree, controllo di fabbricati e infrastrutture, agricoltura, aiuti umanitari, tempo libero e molto altro ancora, oggi sono usi altrettanto importanti. Grazie alla ricerca, che mira alla miniaturizzazione e a rendere autonomi i droni, e alla diffusione e produzione economica dei relativi componenti, la tecnologia presenta un grande potenziale futuro con molteplici effetti sull'economia e la società. Il presente documento rappresenta in forma consolidata i vantaggi e i rischi della tecnologia dei droni e indica i potenziali di sviluppo per la ricerca ed economia svizzera.

In una prima parte – le informazioni base – viene riassunta la conoscenza esistente relativa agli aspetti concettuali, tecnici ed economici della tecnologia dei droni, seguita dalle valutazioni sui futuri sviluppi in questi settori. Viene anche inserita un'analisi dell'accoglimento dei droni nella letteratura tecnica internazionale e nei media svizzeri (Svizzera tedesca e francese). Come elementi chiave dei dati di base si possono individuare i seguenti punti: come prima cosa, non esiste al momento una definizione unitaria, giuridicamente riconosciuta per il termine «drone» e non sembra opportuno fare una differenza concettuale tra i velivoli radiocomandati e i droni supportati da specifiche tecniche. Secondo, sorgono difficoltà tecniche maggiori nell'integrazione dei droni nel sistema dei trasporti aerei – specialmente riguardo ai sistemi «Detect & Avoid» –, cosicché sembra necessaria la creazione di un *Unmanned Air Traffic Management System* (U-Space) per la coordinazione di velivoli senza pilota. Terzo, i droni consentono già molteplici possibilità di utilizzo (costruzione e manutenzione, uso da parte delle autorità, ricerca, operazioni umanitarie, logistica industriale, agricoltura, media e intrattenimento, monitoraggio della natura e degli animali selvatici, trasporto di persone e servizi di consegna, misurazioni e controlli, assicurazioni) – molte idee tuttavia sono ancora allo stadio iniziale e al momento non è chiaro se potranno affermarsi rispetto alle soluzioni tradizionali, in particolare anche dal punto di vista economico. Quarto, dal punto di vista della sicurezza tecnica e della protezione ambientale vi sono chiari riferimenti ai rischi pertinenti; è necessaria però un'ulteriore ricerca per poter valutare meglio la portata di questi rischi e la loro gestione. Quinto e ultimo punto,

nella ricezione dei droni da parte dei media appare una predominanza – comunque decrescente – di argomenti militari; i media della Svizzera tedesca sottolineano maggiormente gli aspetti critici dei droni, mentre il potenziale economico della tecnologia dei droni assume un peso maggiore nella cronaca della Svizzera occidentale – la sede della «Drone Valley».

In una seconda parte faremo il punto della situazione e verrà individuato il contenuto della relativa normativa prevista dalla legislazione vigente in Svizzera e a livello internazionale per quanto riguarda i droni. Come constatazione centrale è possibile ribadire che tutti i metodi attuali adottati dall'Ufficio federale dell'aviazione civile per la verifica della sicurezza tecnica dei droni civili si basano su casi singoli (in parte con una durata dei procedimenti o delle autorizzazioni di diversi mesi), cosa incredibile a fronte del significato riconosciuto e delle possibilità di sviluppo in questo settore e che abusa eccessivamente del principio di legalità e del principio di uguaglianza. In rapporto alla verifica della sicurezza tecnica sia a livello nazionale che internazionale viene adottato un approccio basato sul rischio, cosa che sostanzialmente appare ragionevole. In tutti gli altri settori legali osservati (protezione dei dati e della persona, protezione della proprietà e del possesso, conformità alle zone, uso pubblico e uso particolare, nonché protezione ambientale) le leggi vigenti dal punto di vista del loro contenuto offrono disposizioni di tutela sufficienti rispetto ai diversi tipi di utilizzo dei droni civili. Un problema centrale è tuttavia il fatto che, a causa della finora mancata possibilità di identificazione dei droni civili, in particolare nei settori della protezione dei dati e della persona, della tutela della proprietà e del possesso, nonché della protezione ambientale, sussistono problemi esecutivi e attuativi che devono essere risolti.

In una terza parte viene effettuata una valutazione strategica della tecnologia dei droni in base ai fatti raccolti e all'analisi della normativa regolamentare. Un elemento centrale di questa valutazione è la raccolta delle opinioni dei diversi soggetti e stakeholder riguardo ai vantaggi e ai rischi dei droni civili. Inoltre è stato effettuato un sondaggio in due fasi, in cui 61 (prima fase) e 41 (seconda fase) tecnici hanno espresso la loro opinione. Tra l'altro, questo studio ha dimostrato che oggi la maggioranza della popolazione, secondo gli esperti della tecnologia dei droni, ha un atteggiamento più critico, ma che si deve comunque tener conto di una vasta diffusione dei droni fino al 2025. L'utilizzo di droni per il controllo di impianti, per riprese aeree e nel settore dell'agricoltura, secondo il parere degli esperti sono gli ambiti con il massimo potenziale di sviluppo, cosa che corrisponde alle stime degli

attuali studi sulla redditività della tecnologia. A detta degli esperti si deve considerare un rischio importante la sicurezza degli altri utilizzatori dello spazio aereo, seguito dalla sfera privata – che viene considerato però il rischio più centrale per quanto riguarda l'accettazione dei droni da parte della popolazione. Secondo gli esperti, la creazione di un proprio *Unmanned Air Traffic Management* (U-Space) per droni civili è indispensabile. Dal punto di vista normativo, gli esperti favoriscono in particolare le limitazioni d'uso dei droni in determinati settori sensibili.

Secondo i dati di base, per l'analisi delle normative e la valutazione strategica si dovrebbero attuare quattro raccomandazioni prioritarie:

- 1) primo, dovrebbe essere creato un quadro normativo trasparente per i droni. In particolare, si devono adeguare le basi legali per la valutazione di sicurezza dei droni civili ai fini del rispetto delle leggi e dell'uguaglianza giuridica. Il termine «Drone» – senza differenziarlo tecnicamente dai velivoli radiocomandati – deve essere inserito nella regolamentazione e le basi sostanziali del regime di autorizzazione dovrebbero essere contenute a livello di ordinanza.
- 2) Secondo, si dovrebbero promuovere ricerche e dialoghi con gli stakeholder che contribuiscono alla creazione di una gestione del traffico aereo per velivoli senza pilota (*Unmanned Traffic Management*; UTM/U-Space).
- 3) Terzo, si dovrebbero applicare adeguamenti regolatori mirati per migliorare l'attuabilità della legge vigente. Questo riguarda l'introduzione di un obbligo di registrazione unito a un'identificazione elettronica, la creazione di linee guida per la formazione di piloti di drone (specialmente professionisti) e obblighi di informazione per i produttori o concessionari/importatori.
- 4) Quarto, infine, la Svizzera dovrebbe continuare a collaborare come partner attivo alla configurazione internazionale della regolamentazione sui droni, non recependo però genericamente le norme europee, bensì sfruttando i margini di manovra a seguito di un'attenta valutazione dei vantaggi e svantaggi, per utilizzare al massimo il potenziale economico della tecnologia dei droni.

Tre altre raccomandazioni dovrebbero contribuire a una gestione migliore delle opportunità e dei rischi legati alla tecnologia dei droni. Così l'*Aviation Research Center Switzerland* fondato nel 2017 dovrebbe assumere un ruolo di guida nel dialogo con gli stakeholder sull'argomento U-Space. Inoltre dovrebbe essere creato un collegio comprendente tutti gli stakeholder corrispondenti, che definisca

le *best practice* per la determinazione delle zone in cui sia vietato volare, e le regole di condotta collegate. Infine deve essere istituita un'area nazionale per i test a scopo di ricerca, che possa contare sul supporto in forma di incentivi da parte della federazione e di partecipazione da parte dell'industria.

1. Einleitung

Drohnen gehören zu den bedeutenden technologischen Innovationen der vergangenen zehn Jahre und eröffnen neue, bislang unbekannte Perspektiven in zahlreichen Anwendungsfeldern. Ursprünglich für militärische Überwachungs- und Kampfzwecke eingesetzt, werden Drohnen mittlerweile auch im zivilen Bereich verwendet: Luftaufnahmen, Überwachung von Bauten und Infrastruktur, Landwirtschaft, humanitäre Hilfe, Freizeit und vieles mehr sind heute ebenso wichtige Nutzungszwecke. Durch die Forschung, die eine Miniaturisierung und Autonomisierung der Drohnen anstrebt, birgt die Technologie grosses Zukunftspotenzial mit zahlreichen Auswirkungen auf Wirtschaft und Gesellschaft. Dieser Bericht soll in konsolidierter Form Chancen und Risiken der Drohnentechnologie darlegen und Entwicklungspotenziale für die Schweizer Forschung und Wirtschaft aufzeigen. Das Einführungskapitel umreisst Auftrag, Zielsetzung und Zielgruppe dieses Berichts (Abschnitt 1.1), grenzt das Thema der Studie ein (Abschnitt 1.2) und beschreibt die verwendeten Methoden (Abschnitt 1.3).

1.1 Projektauftrag und Zielsetzung

1.1.1 Auftrag

Im Januar 2016 lancierte TA-SWISS eine Ausschreibung, um Herausforderungen und Perspektiven der Drohnentechnologie im Detail zu analysieren. Die vorliegende Studie soll mittels eines inter- und transdisziplinären Blicks auf die zivilen Drohnen die Chancen, Risiken und Grenzen der aktuellen und zukünftigen Entwicklungen dieser Technologie erörtern. Untersuchungsgegenstand sind die voraussichtlichen Innovationen und Entwicklungen auf dem Gebiet der Drohnen im Zeitraum bis 2025. Zu klären ist, welche technologischen Innovationen die Entwicklungen im Bereich der Drohnen beeinflussen werden, welche Einsatz- und Anwendungsgebiete von zivilen Drohnen zu erwarten sind und mit welchen politischen, rechtlichen, sozialen und wirtschaftlichen Herausforderungen aufgrund dieser Entwicklung zu rechnen ist. Mittels der Studie sollen Empfehlungen für eine nachhaltige und verantwortungsbewusste Nutzung der Drohnentechnologie erarbeitet werden.

Die Erarbeitung der Empfehlungen stützt sich auf Diskussionen mit den Stakeholdern der Drohnentechnologie ab, also Forschern, Konstrukteuren, öffentlichen Behörden, Unternehmen, Verbänden sowie Anwenderinnen und Anwendern. Ziel ist es, gemeinsam mit den betroffenen Akteuren einen Massnahmenkatalog für die Entwicklung von innovativen und sozialverträglichen Drohndienstleistungen zu entwickeln.

Konkret soll die Studie gemäss Auftragstext folgende Punkte umfassen:

- Einen **Perspektivenbericht** zu den technologischen Entwicklungen auf dem Gebiet der Drohnen und zum künftigen Einsatz von Drohnen durch private und öffentliche Akteure. Ziel dieses Teils der Studie ist es, die Technologien und künftigen Anwendungsgebiete der Drohnen aufzuzeigen.
- Eine **Analyse der Gesetzgebung** im Bereich der Drohnen. Diese soll sowohl eine Bestandsaufnahme der wesentlichen schweizerischen und internationalen Rechtsvorschriften umfassen und darlegen, mit welchen gesetzgeberischen Herausforderungen die heutigen und künftigen Entwicklungen im Bereich der zivilen Drohnen verbunden sind. Ziel dieses Teils der Studie ist es, ein besseres Verständnis der Gesetzgebung zu ermöglichen und allfällige Gesetzeslücken aufzudecken.
- Einen **strategischen Bericht** zu den Standpunkten der verschiedenen Akteure (Forscher, Konstrukteure, öffentliche Behörden, Unternehmen, Anwenderinnen und Anwender, NGOs usw.) bezüglich der Chancen und Risiken von Innovationen im Bereich der Drohnen und zu ihren Empfehlungen bezüglich Gesetzgebung, Forschung und Innovation, Einsatz usw. Ziel ist es, dass sämtliche Beteiligten ihre Ansichten zu den künftigen Entwicklungen im Bereich der Drohnen kundtun können, um so die Grundlagen der Anforderungen für eine nachhaltige und verantwortungsvolle Integration der Drohnen in der Gesellschaft und im öffentlichen Raum mitgestalten zu können.

Das interdisziplinäre Projektteam, das den Auftrag zur Umsetzung der Studie erhalten hat, umfasst technische, psychologische, rechtliche, sozialwissenschaftliche und ethische Kompetenzen, die für die Umsetzung der Studie wichtig sind. Die Projektleitung wurde durch das Zentrum für Aviatik der ZHAW wahrgenommen, das seit vielen Jahren im Bereich Drohnentechnologie, Mensch-Maschine-

Interaktion, Luftfahrtsystem und Systemintegration, *Human Factors* und aeronautische Kommunikation forscht (Michel Guillaume, Peter Lenhart). Das Team mit Forschern von der Universität Zürich umfasst Kompetenzen im Bereich Technikfolgenabschätzung, Ethik von Informations- und Kommunikationstechnologie, qualitative und quantitative Sozialforschung sowie Bibliometrie (Markus Christen, Maximilian Jablonowski). Rechtsanwalt Kurt Moll schliesslich ist unter anderem spezialisiert auf Gesetzgebung und interdisziplinäre Forschung im Verkehrsbereich, Politikberatung, summative und formative (Gesetzes-)Evaluationen sowie Gesetzesfolgenabschätzungen.

1.1.2 Zielsetzung und Gliederung der Arbeit

Die Zielsetzung der Studie orientiert sich am Auftrag und umfasst die folgenden vier Punkte, die jeweils ein Kapitel des Berichts bilden und damit dessen Gliederung vorgeben:

- **Faktenbasis:** Dieses Kapitel hat eine Systematisierung der bekannten Fakten rund um die Drohnentechnologie zum Ziel. Dies umfasst eine Klärung der begrifflichen und technischen Grundlagen von Drohnen inklusive deren Einbettung in das Luftfahrtsystem, eine Darlegung bekannter und zu erwartender Anwendungsformen von Drohnen, eine Zusammenstellung von Studien zum wirtschaftlichen Potenzial der Drohnentechnologie, eine Erläuterung der Umwelt- und Sicherheitsrisiken von Drohnen sowie eine Auswertung der Rezeption von Drohnen in den Schweizer Medien und der internationalen Fachliteratur. Auf diese Weise werden aktuelle und künftige Anwendungsfelder ziviler Drohnen sowie die dafür notwendigen technischen Innovationen identifiziert und die damit zusammenhängenden ethischen und sozialen Diskursfelder abgesteckt. Die Faktenbasis entspricht grösstenteils dem gemäss Auftrag gewünschten Perspektivenbericht, wobei aber Szenarien der künftigen Entwicklung im Kapitel «Strategische Beurteilung» ausgearbeitet werden. Die Beurteilung dieser Szenarien erfolgt dann im Kapitel «Empfehlungen».
- **Regulationsanalyse:** Dieses Kapitel umfasst eine Bestandsaufnahme und die Bestimmung des Normierungsgehalts des geltenden Rechts in der Schweiz und auf internationaler Ebene im Bereich der identifizierten Drohnensachverhalte. Darauf aufbauend wird eine Einschätzung der künftigen

regulatorischen Dynamik unter Berücksichtigung des schweizerischen Handlungsspielraums angesichts der internationalen Entwicklungen vorgenommen. Vorschläge zum weiteren regulatorischen Vorgehen unter Abwägung möglichst vieler – bisweilen selbstverständlich auch unterschiedlicher bzw. gegenläufiger – Interessen werden dann in Abhängigkeit zu den nachfolgend entwickelten Szenarien im Kapitel «Empfehlungen» ausgeführt. Dieses Kapitel entspricht der gemäss Auftrag gewünschten Analyse der Gesetzgebung.

- **Strategische Beurteilung:** Ziel dieses Kapitels ist eine Darlegung der Ansichten der wichtigsten Stakeholder bezüglich Chancen und Risiken ziviler Drohnen. Hierzu wurden die wichtigsten Stakeholder-Gruppen identifiziert und in einem zweistufigen Verfahren ausführlich über jene Aspekte der Drohnentechnologie befragt, die im Kapitel «Faktenbasis» identifiziert worden sind. Dazu wurden die Antworten der Stakeholder in der ersten Runde zu Nutzungs- und Beurteilungsvarianten verdichtet und ihnen in einer zweiten Runde erneut zur Beurteilung vorgelegt. Basierend auf diesen Antworten sowie dem Input der Fakten- und Regulationsanalyse werden Faktoren identifiziert, welche durch politische und rechtliche Steuerungen direkt adressiert werden können und damit Gegenstand der Empfehlungen dieses Berichtes sind. Dies Kapitel entspricht dem gemäss Auftrag gewünschten strategischen Bericht.
- **Empfehlungen:** Dieses Kapitel formuliert priorisierte Empfehlungen. Das Feld der Empfehlungen ist gegliedert in vier zentrale und drei ergänzende Empfehlungen. Erstere betreffen die regulatorische Einbettung des Drohnenwesens, die Schaffung eines Systems für *Unmanned Air Traffic Management* (U-Space), zentrale Rechtsanpassungen zur Gewährleistung der Durchsetzung des geltenden Rechts sowie die internationale Entwicklung. Letztere betreffen die Strukturierung notwendiger Dialoge zwischen den Stakeholdern zu den Bereichen U-Space und Schutzgebiete sowie die Forschungsförderung im Bereich Drohnen.

1.1.3 Zielgruppe

Zielgruppen dieses Berichts sind sowohl Vertreterinnen und Vertreter von Organisationen, bei denen potenzielle Anwendungen der zivilen Drohnentechnologie zu erwarten bzw. die von dieser Technologie direkt betroffen sind, als auch Fachleute

aus der Verwaltung und der Politik (Bund, Kanton, Gemeinden), die in regulatorische Aspekte der Nutzung von Drohnentechnologie involviert sind. Dazu kommen Fachpersonen aus den Bereichen Forschungs- und Innovationsförderung und Journalisten.

Bei den betroffenen Organisationen bzw. Institutionen handelt es sich insbesondere um folgende:

- **Behörden und andere staatliche Institutionen (Schweiz):** Verwaltungsstellen, die direkt in regulatorische Aspekte von Drohnen involviert sind (z.B. Zulassungsbehörden), indirekt von Aspekten des Drohnenwesens betroffen sind (z.B. Datenschutzbehörden) oder als staatliche Institutionen Drohnen nutzen (z.B. Polizei).
- **Organisationen der (internationalen) Luftraum-Infrastruktur:** Europäische und Schweizer Organisationen der Luftraumsicherung (z.B. Eurocontrol, skyguide), Flughäfen.
- **Andere Luftraumnutzer:** Dies umfasst Airlines, Pilotenverband, Landes- und Regionalflugplätze, Luftwaffe, Luftrettungsdienste wie z.B. Rega, Gleit- und Fallschirmvereine, Segelfluggruppen, AeroClub, Modellfluggruppen etc.
- **Forschung und Entwicklung:** Institute und Firmen, die direkt in die Entwicklung von Drohnentechnologie involviert sind (d.h. Hard- und Software-Komponenten sowie Systemlösungen entwickeln oder Anwendungen von Drohnen erforschen).
- **Hersteller:** Unternehmen, die Drohnen oder Technologiekomponenten von Drohnen herstellen (schweizweit und international, z.B. RUAG, SenseFly, Parrot, SwissDrones). Dies umfasst auch Start-ups mit Fokus auf neue technische Innovationen wie z.B. *Autonomous Systems* (beispielsweise Aeroscout, Aerotain, Flyability, Fotokite, Wingtra).
- **Anwender von Drohnen:** Unternehmen aller Arten (von Einpersonbetrieben bis Grossunternehmen) und sonstige Organisationen (z.B. NGOs), die Drohnen bereits nutzen oder eine Nutzung in ihr Geschäftsmodell aufnehmen könnten (Fotografen, Logistikunternehmen, Post etc.).
- **Verbände mit direktem Bezug zum Drohnenwesen:** Schweizerischer Verband Ziviler Drohnen (SVZD), Verband der Unbemannten Luftfahrt UAV DACH e.V. (Deutschsprachiger Raum Schweiz, Österreich und Deutschland).

- **Umweltorganisationen:** Vertreter von Verbänden mit Themengebieten, die durch die verschiedenen Arten von Auswirkungen von Drohnen betroffen sein können (Konsumentenschutz, Landschaftsschutz, Lärmschutz, Vogelschutz etc.).
- **Sonstige Akteure mit wirtschaftlichen Interessen am Drohnenwesen:** Das betrifft beispielsweise Versicherungen oder Investoren.

Diese betroffenen Organisationen bilden gleichzeitig auch die wichtigsten Stakeholder, die in der strategischen Beurteilung angegangen werden.

1.2 Eingrenzung der Fragestellung

Die aktuellen und künftigen Einsatzgebiete von Drohnen sind weitläufig. Fokus der Studie sind zivile Anwendungen, wobei aber die Abgrenzung zum militärischen Einsatz von Drohnen nicht immer einfach zu ziehen ist. Ein Abgrenzungsversuch kann über die Art der Zuladung der Drohnen erfolgen; d.h., sind Drohnen bewaffnet, so fallen sie in den militärischen Bereich. Entsprechende Fragen wie z.B. die Vereinbarkeit gewisser Formen der drohnengestützten Kriegsführung mit dem Kriegsrecht, psychologische Effekte auf Drohnenpiloten oder die ethische Legitimität der Entwicklung von Systemen mit autonomer Tötungskapazität fallen nicht in den Fokus dieser Studie. Auch der nachrichtendienstliche Einsatz von Drohnen fällt nicht in den Bereich der Studie.

Eine Bewaffnung von Drohnen ist aber kein scharfes Abgrenzungskriterium. Weil Polizei- und Grenzschutz dem zivilen Bereich zugeordnet werden und es denkbar ist, dass auch hier dereinst Drohnen mit waffenähnlichen Fähigkeiten eingesetzt werden könnten (z.B. zur Abgabe von Reizgas bei Demonstrationen), besteht hier eine Grauzone. Zudem besteht das Risiko der terroristischen Nutzung ziviler Drohnen, indem diese z.B. für Bombenanschläge missbraucht werden können. Entsprechend fällt die Nutzung von bewaffneten Drohnen nicht völlig aus dem Blickfeld der Studie – nicht zuletzt auch deshalb, weil militärisch genutzte Drohnen das «Image» der Technologie stark geprägt haben, wie in der nachfolgenden Medienanalyse deutlich werden wird.

Eine weitere Grauzone besteht bezüglich der Grösse von Drohnen, welche von Micro-, Mini- bis zu grossen *High-Altitude Long Endurance Systemen* (HALE) reichen. Heute sind «Kleinstdrohnen» häufig als Multikopter mit reinem Spielzeugcharakter erhältlich, d.h., sie werden direkt auf Sicht gesteuert, verfügen über eine meist nur geringe Reichweite und Flugzeit und haben keine sonstigen, z.B. sensorischen, Fähigkeiten. Wenn solche Kleinstdrohnen keinerlei zusätzliche Fähigkeiten (z.B. Kameras) haben und damit (einmal von einem minimalen Unfallrisiko abgesehen) keine Faktoren betreffen, die heute kritisch bezüglich Drohnen diskutiert werden, fallen sie nicht in den Fokus der Studie.

Allerdings ist auch die Grösse kein scharfes Abgrenzungskriterium, weil zu erwarten ist, dass die Miniaturisierung bald zu leistungsfähigeren Systemen führen wird, die z.B. Kleinkameras enthalten. Heute werden zudem auch die Spielzeugdrohnen immer grösser, sie sind zunehmend mit Kameras und Tonaufnahmegeräten ausgerüstet und lassen sich ohne Sichtkontakt und nur am PC oder via Handy fliegen. Zudem werden diese Systeme vermehrt als «verlängerter Selfie-Stick» zu Fotozwecken oder als Ersatz einer Helmkamera (GoPro oder ähnliche Systeme) in der Freizeit eingesetzt. Aus diesem Grund fallen Spielzeugdrohnen in den Fokus der Studie, mit Ausnahme der oben genannten Kleinstdrohnen.

Schliesslich ist festzuhalten, dass der Begriff «Drohne» als technisches Fluggerät auch heute nicht präzise definiert ist bzw. definiert werden kann, wie in Abschnitt 2.1 ausgeführt werden wird. Entsprechend kann die Eingrenzung der Fragestellung nicht über den Begriff der «Drohne» erfolgen.

1.3 Methodologie

Diese Studie stützt sich auf einen *Mixed-Methods*-Ansatz aus, der qualitative und quantitative Forschungsstrategien kombiniert. Dabei wurden folgende Methoden eingesetzt:

- **Quantitative Literaturanalyse:** Bibliometrische Methoden wurden sowohl zur Analyse der internationalen Fachliteratur (unter Nutzung der Datenbanken Scopus und Web of Science) als auch der Schweizer Zeitungsbericht-

erstattung (unter Nutzung der Datenbanken Factiva und Swissdox) eingesetzt. Mittels dieser Methoden wurde z.B. ermittelt, wie die Publikations-tätigkeit zum Thema Drohnen sich insgesamt entwickelte, welche Themen im Zeitverlauf dominierten, wer die wichtigsten Akteure und Autoren sind oder inwieweit sich regionale Unterschiede zeigen.

- **Qualitative Literaturanalyse:** Wichtige Literatur ist systematisch ausgewertet worden. Unter anderem betrifft dies die vielfach zitierte wissenschaftliche Literatur sowie Beiträge renommierter Fachexperten. Diese Arbeit profitiert zudem von der Tatsache, dass einer der Autoren des Berichts (Maximilian Jablonowski) derzeit eine Dissertation zu sozialwissenschaftlichen Aspekten von Drohnen an der Universität Zürich abschliesst.
- **Expertenbesuche:** Es sind ausgewählte Labors, Produktionsstätten und Konferenzen besucht und Interviews mit Experten vor Ort geführt worden. Damit wurden Hintergrundinformationen zur Entwicklung des Fragebogens für die Stakeholder-Analyse gesammelt.
- **Desk Research:** Diese Methode wurde primär für die Regulationsanalyse und -empfehlungen eingesetzt. Hiermit erfolgten eine Zusammenstellung der wesentlichen regulatorischen Grundlagen anhand der als relevant erkannten Sachverhalte, ein Screening der nationalen und internationalen Rechtsprechung sowie die Entwicklung von regulatorischen Handlungsperspektiven und -empfehlungen. Als Quellen figurierten Swisslex (Schweizerische Juristische Datenbank), EU-Rechtsquellen sowie spezifische juristische Datensammlungen auf nationaler und internationaler Ebene.
- **Umfrage mit Delphi-Design:** Ausgewählte Stakeholder sind online mit einem Fragebogen zu zahlreichen technischen, sozialen und wirtschaftlichen Aspekten von Drohnen befragt worden. Die Umfrage hatte ein Delphi-Design, d.h., basierend auf den Antworten wurden Szenarien entwickelt, die dann den Befragten erneut zur Beurteilung vorgelegt worden sind. Der Fragebogen ist aufgrund der Literaturanalyse, der Expertenbesuche sowie der Desk Research entwickelt worden.

2. Faktenbasis

Die Faktenbasis stellt das vorhandene Wissen zu begrifflichen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten der Drohnentechnologie zusammen inklusive der bereits bestehenden Einschätzungen zu künftigen Entwicklungen in diesen Bereichen. Dazu kommt eine Analyse der Rezeption von Drohnen in der internationalen Fachliteratur und in den Schweizer Medien (deutsch- und französischsprachige Schweiz). Abschnitt 2.1 erläutert die Verwendung des Begriffs «Drohne» in der technischen Literatur und dem (internationalen) Recht. Abschnitt 2.2 führt in die technischen Grundlagen von Luftraum und Luftverkehr ein, welche den Rahmen für die professionelle Nutzung der Drohnentechnologie bilden. Abschnitt 2.3 beschreibt die für die Nutzung von Drohnen zentralen technologischen Innovationen. In Abschnitt 2.4 werden aktuelle und künftig wahrscheinliche Einsatzformen von Drohnen analysiert. Wirtschaftliche Aspekte bilden den Fokus von Abschnitt 2.5, technische Sicherheit und Umweltschutz werden in Abschnitt 2.6 diskutiert. Abschnitt 2.7 schliesslich zeigt anhand einer Analyse der internationalen Literatur sowie einer Auswertung von Schweizer Medien im Zeitraum 2011 bis 2016 die wissenschaftliche und öffentliche Rezeption der Drohnentechnologie.

2.1 Der Begriff «Drohne»

2.1.1 Das Problem der Begriffsdefinition

Der Begriff «Drohne» ist die umgangssprachliche Bezeichnung für (bestimmte) unbemannte Luftfahrzeuge (*Unmanned Aircraft*, UA). Wie nachfolgend deutlich werden wird, besteht derzeit aber keine einheitliche und insbesondere rechtlich anerkannte Definition von Drohnen. In der wissenschaftlichen Literatur existiert eine ganze Reihe von Bezeichnungen für Drohnen, welche unterschiedliche Aspekte der Drohnentechnologie betonen. Clarke (2014) nennt die Begriffe *Remotely Operated Aircraft* (ROA), *Remotely Piloted Vehicle* (RPV), *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV), *Remotely Piloted Aircraft* (RPA) und *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS). Die Bezeichnung UAV ist in den USA verbreitet. Oft wird damit zum Ausdruck gebracht, dass die Fluggeräte über beträchtliche autonome Flugfähig-

keiten verfügen, d.h., ihre Mission eigenständig und weitgehend ohne Eingriff eines Piloten durchführen können. In Europa ist die Bezeichnung RPA gängiger. Damit wird der Aspekt betont, dass die Systeme ferngesteuert sind und auf eine Bedienstation am Boden (*Remote Pilot Station*, RPS) und auf einen Datenfunk (Telemetrie) zwischen Drohne und Bodenstation angewiesen sind. Das Gesamtsystem aus ferngesteuertem Fluggerät, Telemetrie und Bodenstation bezeichnet man im Englischen daher als *Remotely Piloted Aircraft Systems* (RPAS). Die anderen von Clarke genannten Bezeichnungen werden seltener gebraucht.

Die begriffliche Unschärfe ist Ausdruck der Tatsache, dass die Drohnentechnologie noch sehr im Fluss ist und der Begriff «Drohne» Systeme mit recht unterschiedlichem Erscheinungsbild bezeichnet. In der öffentlichen Wahrnehmung dominiert das Bild des Multikopters, d.h. helikopterartigen Systemen mit vier oder mehr horizontal ausgerichteten Propellern. Die militärisch genutzten Drohnen wiederum erinnern mehr an klassische Propellerflugzeuge.

Verkompliziert wird diese Unschärfe durch die Tatsache, dass Modellluftfahrzeuge – also ferngesteuerte Modellflugzeuge und Modellhubschrauber – schon seit vielen Jahrzehnten als UA genutzt werden und Drohnen rechtlich in der Schweiz als Modellluftfahrzeuge behandelt werden. Auch international existiert keine klare Abgrenzung zwischen Drohnen und Modellluftfahrzeugen (siehe unten). Insbesondere professionelle Nutzer von Drohnen legen aber Wert darauf, dass diese begrifflich von Modellluftfahrzeugen abgegrenzt werden. Dies dürfte auch im Sinn der Modellluftfahrzeugnutzer sein, die primär Freude an der manuellen Steuerung dieser Geräte haben.¹ Diese befürchten, dass eine Regulierung des (professionellen) Drohnenbereichs die Nutzung von Modellluftfahrzeugen für Hobbyzwecke massiv einschränken könnte (Germann 2016: 13).

Diese skizzierte und unten weiter ausgeführte begriffliche Unschärfe ist aber nicht nur bezüglich einer möglicherweise gewünschten Abgrenzung zwischen Drohnen und Flugmodellen ein Problem. Generell braucht eine rechtliche Analyse und Systematisierung von Sachverhalten, in denen zivile Drohnen eingesetzt werden, eine klare Begriffsdefinition. Es sollte bestimmt bzw. bestimmbar sein, wann es sich bei einem technischen Fluggerät um eine Drohne im Rechtssinne handelt und wann

¹ Ein Teil dieser Flugmodellsportler ist im Schweizer Modellflugverband (SMV) organisiert, der die Sparte Modellflug im Aero-Club der Schweiz bildet (siehe: <http://www.modellflug.ch> und <http://www.aeroclub.ch/index.php/de/aero-club-der-schweiz/sparten/modellflug>).

nicht, andernfalls hätte der Begriff «Drohne» aus rechtlicher Perspektive keine eigene Bedeutung. Eine Definition sollte sodann genügend offen sein, um zu erwartende technische Entwicklungen einzubinden, damit die Regulation nicht der Innovation hinterherhinkt.

Bei der Bestimmung eines Begriffes ist es einerseits wichtig, festzulegen, was in einem bestimmten Wortgefäss enthalten ist. Andererseits muss klar sein, wo die Abgrenzungen liegen. Was ist im rechtlichen Sinne unter einer Drohne zu verstehen? Was ist keine Drohne mehr? Klare Antworten auf diese Fragen bilden die Grundlage für eine konsistente Analyse der relevanten Regulationsbereiche und die Erarbeitung von Regulationsempfehlungen im Bereich Drohnen (vgl. dazu Kapitel 3). Von einem konsistenten Drohnenbegriff zu unterscheiden ist der risikobasierte Regulierungsansatz im Zusammenhang mit der technischen Sicherheit und der Haftung, der – je nach identifiziertem Risiko – unterschiedliche Beurteilungen und Verfahren vorsieht.

Nachfolgend werden zunächst einige technische Charakteristika unbemannter Fluggeräte aufgezeigt. Danach erfolgt eine Darlegung der Begriffscharakterisierungen im Schweizer und im internationalen Recht.

2.1.2 Technische Charakteristika unbemannter Fluggeräte

Drohnen existieren in verschiedenen Erscheinungsformen; eine allgemein gültige Klassifizierung von Drohnen gibt es allerdings nicht. Gängig ist die Unterscheidung von Drohnen nach der Art der Anordnung der Tragflächen oder der Position der Antriebe. So können die folgenden Erscheinungsformen unterschieden werden.

- Fixed Wings
- Multikopter
- Wingcopter
- Rotary Wings (Helikopter)
- Hybrid wings (Tilt Wings mit VTOL-Eigenschaften²)
- Luftschiff

Abbildung 1 zeigt hierzu eine Übersicht. Nebst der Erscheinungsform werden zuweilen auch Grösse und Gewicht für eine Klassifizierung von Drohnen verwendet. Eine entsprechende Einteilung wird in Tabelle 1 ausgeführt.

² VTOL = Vertical Take-Off and Landing. Damit wird die Fähigkeit eines Luftfahrzeugs bezeichnet, senkrecht zu starten und zu landen.

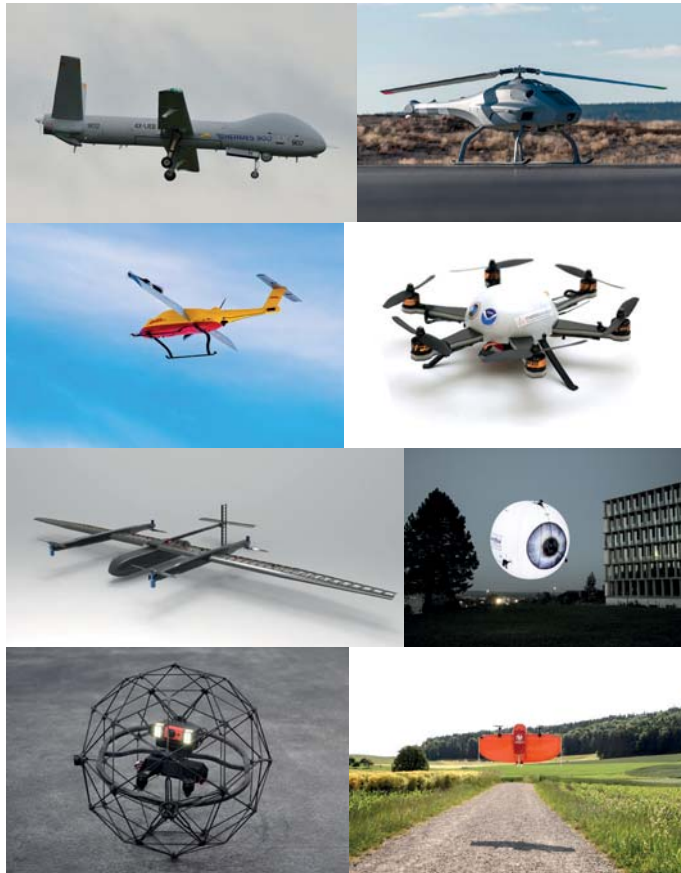


Abbildung 1: Erscheinungsformen von Drohnen (der Reihe nach): Fixed Wing (Hermes 900), Rotary Wing, Hybrid (Tilt-) Wing (DHL Parcelcopter), Multikopter, Wingcopter. Luftschiff-Drohne «Skye». Spezielle Abwandlung eines Multikopters: Kollisionstolerante Drohne «Elios» von Flyability. Mischform VTOL-Fixed-Wing-Drohne WingtraOne.³

³ Bildquellen (der Reihe nach): Wikicommons (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:4X-UEB_01_MartinThoeni.jpg); UMS Skeldar (<http://umsskeldar.aero/wp-content/uploads/029.jpg>); DHL Pressekit (http://www.dpdhl.com/content/dam/dpdhl/presse/specials/paketkopter_3_0/dhl-parcelcopter-990x360.jpg); Meteomatic (per E-Mail); ZHAW (https://www.zhaw.ch/storage/_processed_/2/e/csm_CAD-Modell-Wingcopter_83490f8612.jpg); Aerotain (per E-Mail); öffentliches

Tabelle 1: Eine mögliche Klassifizierung von Drohnen nach Gewicht.

Gewicht	Grundlage	Beispiele
Bis 0.5 kg	Gewichtsuntergrenze in Verordnung UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien (VLK, SR 748.947)	DJI Spark
Bis 2 kg	sinnvolles Gewicht zur Abgrenzung von verbreiteten Kameradrohnen zu professionellen Luftaufnahmedrohnen	DJI Phantom 4, DJI Mavic, SenseFly eBee
Bis 5 kg	Bei Überschreitung ist in Deutschland gemäss Luftverkehrs-Ordnung LuftVO Abschnitt 5a, § 21a (1) 1. eine Aufstiegserlaubnis nötig.	WingtraOne, DJI Inspire 2
Bis 30 kg	Gewichtsobergrenze in Verordnung UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien (VLK, SR 748.947)	ZHAW UMARS
Bis 150 kg	Bisherige Gewichtsuntergrenze nach EASA (EC no 216/2008, Annex II)	UMS Skeldar R-350, F-720
Bis 2000 kg	Gewichtsobergrenze von Flugzeugen, die ein Pilot mit einer Light Airplane Pilot Licence (LAPL) betreiben darf	RUAG ADS-95, Elbit Hermes 900
Über 2000 kg	siehe «Bis 2000 kg»	Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk, General Atomics Avenger

Vorwiegend im militärischen Bereich werden schliesslich oft Flughöhe und die Reichweite einer Drohne wie folgt als Klassifizierungsmerkmal verwendet:

- Micro, Mini (für kleine Innenräume, Schächte, Häuser)
- Short- und Close Range
- Low Altitude Long Endurance (LALE)

Presse-Kit von Flyability (<http://www.flyability.com>); öffentliches Presse-Kit von Wingtra (<https://wingtra.com/wp-content/uploads/2017/08/Wingtra-Press-Kit-2017-08.zip>).

- Medium Altitude Long Endurance (MALE)
- High Altitude Long Endurance (HALE)

In technischer Hinsicht lassen sich Drohnen mit folgenden Eigenschaften charakterisieren (Clarke 2014), wobei aber die Bedeutung dieser technischen Aspekte je nach Art und Einsatzgebiet der Systeme unterschiedlich ist:

- **Flugkontrollfunktionalität:** Das System besitzt ausreichende technische Funktionalität zur Gewährleistung von Energieversorgung, Manövrierbarkeit, Navigation und Robustheit gegenüber Umwelteinflüssen (Wind etc.), abgestimmt auf den Einsatzzweck der Drohne.
- **Partielle Autonomie:** Das System besitzt durch digitale Technologie unterstützte partielle Autonomiefähigkeiten zur Flugstabilisierung; diverse weitergehende Autonomiefähigkeiten wie z.B. Kollisionsvermeidung, autonomer Vollzug vordefinierter Flugrouten etc. sind aktuell Gegenstand von Forschung und Entwicklung.
- **Datenübertragung:** Das System ist eingebunden in ein Datenübertragungssystem, das zur Fernsteuerung oder aber zur Übertragung weiterer Daten entsprechend der Funktionalität des Systems benutzt wird (z.B. Videoübertragung).
- **Gesamtsystem:** Die Nutzung von Drohnen ist eingebunden in ein umfassendes System von Steuerung (wobei es möglich ist, dass Personen mehr als eine Drohne steuern), Auswertung der von Drohnen erhobenen Informationen, Unterhalt, u.a.m.
- **Zuladung (Payload):** Diese Eigenschaft bezeichnet die Kapazitäten zur Aufnahme von Systemen (z.B. Kameras, Sensoren, Nutzlast) entsprechend der Gesamtfunktionalität.

Charakteristisch für die Drohnentechnologie ist insbesondere die enge Verzahnung digitaler Technologie (Sensorik, Steuerungsalgorithmen etc.) mit elektromechanischen Elementen (Elektromotoren etc.) und die damit einhergehende Miniarisierung solcher Systeme. Mit Blick auf künftige Anwendungen ist zudem der Betrieb von Drohnen ausserhalb der Sichtweite des Operateurs (*beyond visual line of sight*, BVLOS) ein zentrales Thema. Für BVLOS-Flüge muss die Drohne mit einem Kollisionsschutzsystem ausgerüstet sein, welches andere Luftfahrzeuge rechtzeitig erkennt und bei drohender Kollision ein Ausweichmanöver initiiert (*detect and avoid*). An der Entwicklung solcher «Detect and avoid»-Systeme

forschen alle grossen Unternehmen der Luftfahrtbranche (dieser Punkt wird in Abschnitt 2.2 weiter ausgeführt).

2.1.3 Der Begriff «Drohne» im Schweizer Recht

2.1.3.1 Keine Definition im Luftverkehrsrecht

Der Begriff «Drohne» wird in den schweizerischen Rechtsgrundlagen nicht definiert.⁴ Es steht jedoch ausser Zweifel, dass Drohnen Luftfahrzeuge im Sinne der schweizerischen Luftfahrtgesetzgebung darstellen, weil sie sich in Übereinstimmung mit der Legaldefinition von Luftfahrzeugen gemäss Art. 1 Abs. 2 des Bundesgesetzes über die Luftfahrt vom 21. Dezember 1948 (Luftfahrtgesetz, LFG; SR 748.0) «durch Einwirkungen der Luft, jedoch ohne die Wirkung von Luft gegen den Boden (Luftkissenfahrzeuge), in der Atmosphäre halten können».

Das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) führt zudem auf seiner Homepage aus, dass Drohnen den Flugmodellen gleichgestellt sind.⁵ Zwar wendet das BAZL die gesetzlichen Grundlagen, die für Modellluftfahrzeuge gelten, auf Drohnen an. Damit ist aber noch nichts darüber gesagt, inwiefern sich Drohnen von Modellluftfahrzeugen unterscheiden oder ob sie – wie im sicherheitstechnischen Regulativ (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.1.5) – als Unterart der Kategorie Modellluftfahrzeuge zu betrachten sind.⁶

Regulatorisch gelten Drohnen heute als vollständige Schnittmenge der sogenannten Modellluftfahrzeuge; allerdings auch dies ein Begriff, der weder auf Gesetzes- noch auf Verordnungsstufe definiert ist. Dieser Umstand einer fehlenden konzeptuellen

⁴ Der Begriff taucht wörtlich nur ein einziges Mal auf, in Art. 3 Abs. 2 der Verordnung über den Einsatz von Bildaufnahme-, Bildaufzeichnungs- und anderen Überwachungsgeräten durch die Eidgenössische Zollverwaltung vom 4. April 2007 (SR 631.053). In dieser Bestimmung werden Drohnen von Luftfahrzeugen unterschieden, was nicht korrekt ist, da auch Drohnen Luftfahrzeuge im Sinne der schweizerischen Luftfahrtgesetzgebung sind. Im Zusammenhang mit dem militärischen Flugdienst taucht das Wort Drohne – allerdings lediglich in zusammengesetzten Begriffen (wie «Drohenoperateur» oder «Drohenpilot») – sodann in verschiedenen Verordnungen auf, ohne dass dabei jeweils Begriffserklärungen abgegeben würden.

⁵ Vgl. <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen-und-flugmodelle.html> – abgerufen am 1. März 2017.

⁶ Der Definitionsversuch in BAZL 2016 hilft leider auch nicht weiter.

tionellen Gestaltung der gesetzlichen Grundlagen ist störend; es werden für einzelne Begriffe Rechtsfolgen festgelegt, ohne gleichzeitig festzulegen, was unter diesen Ausgangsbegriffen subsumiert werden muss. Ein solche gesetzgeberische Konzeption hat zwar den Vorteil, dass in vielen Anwendungsfällen auf der Stufe des Vollzugs allgemein gehaltener, verbindlicher Normen sehr grosse Ermessensspielräume bestehen. Der Rechtssicherheit sind solche Gesetzeskonzepte aber nicht zuträglich.

Auch bisherige Versuche der juristischen Lehre, den Begriff «Drohne» konsistent zu definieren, waren nicht von Erfolg gekrönt. So ist beispielsweise die von Weber & Oertly (2015) vorgeschlagene Definition einer Drohne als «ein ferngesteuertes, unbemanntes Flugzeug [...], das unterschiedliche Zwecke erfüllen kann und sowohl gewerbsmässig als auch privat einsetzbar ist» (S. 2), vollkommen unzureichend, was die Unterscheidung von ähnlichen Luftfahrzeugen (wie z.B. Modellfliegern) betrifft.

2.1.3.2 Unterschiedliche Verständnisse verschiedener Akteure

Offen zutage tritt das Dilemma eines fehlenden rechtlichen Begriffes der «Drohne» angesichts der Forderung des Schweizerischen Verbandes Ziviler Drohnen (SVZD), wie Drohnen zu definieren sind, um diese insbesondere von den Modellluftfahrzeugen abzugrenzen.⁷ Demnach soll mindestens eines der folgenden beiden Kriterien erfüllt sein, damit ein Flugkörper als Drohne gelten kann:

- Möglichkeit kontrollierter BVLOS-Flüge (z.B. durch FPV⁸, Bodencockpit oder Autopilot);
und/oder
- Nutzung als Werkzeug steht im Zentrum (z.B. fliegende Kamera, andere Sensorik oder Transportmittel)

⁷ Die Angaben stammen aus Folie 20 von: Büttner, R., Sager, U., Leuenberger, S. (2016): Kernbotschaften an die EASA zur «Prototype Regulation on UAS»; Präsentation des SVZD vom 24.11.2016 im Rahmen der EASA. Siehe dazu auch: Büttner, Reto: EASA: Introduction of a regulatory framework for the operation of drones: NPA 2017-05 (A). Präsentation vom 12. Mai 2017 an den Swiss Aviation Days in Bern Wankdorf.

⁸ FPV = First person view. Damit wird eine Variante des RC-Modellbaus bezeichnet, bei der das Modell mittels Kamertechnik aus der Perspektive des ferngesteuerten Modells wie aus der Sicht eines Fahrers/Piloten gesteuert wird.

Das BAZL geht bei einem Definitionsversuch in die gleiche Richtung wie der SVZD mit seinem zweiten Kriterium (BAZL 2016):

«Bei Drohnen handelt es sich um unbemannte, ferngesteuerte Luftfahrzeuge, die bestimmten Zwecken dienen wie etwa Bildaufnahmen, Vermessungen, Transporten, wissenschaftlichen Untersuchungen usw. Dabei spielt es keine Rolle, ob der Einsatz gewerbsmässig, privat, beruflich oder wissenschaftlich erfolgt. Im Gegensatz dazu stehen Flugmodelle wie Modellflugzeuge, Modellhelikopter usw., die grundsätzlich für Freizeitaktivitäten genutzt werden. Hier steht die Ausführung des Fluges und die Freude daran im Vordergrund.»

Somit lassen sich derzeit im Schweizer Recht zwei Ansätze zur begrifflichen Fassung von Drohnen unterscheiden, insbesondere bezüglich ihrer Abgrenzung von Flugmodellen: Entweder sind Drohnen vollständig in der Kategorie der Modellluftfahrzeuge enthalten oder Drohnen und Modellluftfahrzeuge bilden zwei disjunkte Mengen (siehe dazu auch Abbildung 2, welche die bestehenden Definitionsvorschläge grafisch zusammenfasst). Leider stossen beide Verständnisse des Drohnenbegriffs an ihre Grenzen, wenn es darum geht, saubere Abgrenzungen vorzunehmen. Wie wäre beispielsweise nach einer dieser beiden Definitionen ein unbemanntes (grosses) Fluggerät zu beurteilen, das es ermöglicht, Personen zu transportieren?⁹ Weder die aktuelle Konzeption der Regulierung noch die Forderung des SVZD bzw. der Definitionsversuch des BAZL kann hier aktuell eine befriedigende Antwort liefern, zumal der Betrieb von personentransportierenden Modellflugzeugen heute auf nationaler Ebene nicht durch die Regulation der Modellluftfahrzeuge erfasst wird, solche Geräte aber zweifellos als unbemannte Luftfahrzeuge zu qualifizieren sind. Die Qualifikation von Passagierdrohnen als Drohnen würde aus heutiger Perspektive zu einem Widerspruch im nationalen Regulativ führen (so auch BAZL 2016: 9).

Insbesondere der Ansatz, die konkrete Nutzung (bzw. den Verwendungszweck) eines Geräts zu seiner Kategorisierung heranzuziehen, vermag am wenigsten zu überzeugen. Es kann nicht im Belieben des Nutzers liegen, wie ein bestimmtes Gerät rechtlich zu qualifizieren ist. Das kann an einem anschaulichen Vergleichsbeispiel aufgezeigt werden. Im Bereich der Waffengesetzgebung wird bestimmt,

⁹ Zur Erläuterung: Ein Fluggerät gilt im rechtlichen Sinn als «bemannt», wenn ein menschlicher Pilot im Fluggerät sitzt und dieses steuert; Passagiere zählen nicht zur «Bemannung».

wann ein Messer als Waffe im Rechtssinne zu betrachten. Klar ist: Auch ein Küchenmesser kann als Waffe eingesetzt werden und auch ein Wurfmesser kann zum Zwiebelschneiden verwendet werden. Die Kriterien, die einen Gegenstand zu einer Waffe im Rechtssinne machen, sind daher ausschliesslich objektiver Natur und weisen höchstens indirekt (aufgrund der Geeignetheit eines Gegenstands zum Waffeneinsatz) einen Bezug zur Nutzung auf.¹⁰ Im Bereich der Modellflugzeuge und Drohnen ist nicht einsehbar, weshalb einzelne Modellluftfahrzeuge nicht die gleichen Funktionalitäten ausüben können wie Drohnen, auch wenn es tatsächliche Unterschiede bei einem Einsatz geben mag (wie z.B. Reichweite, Geschwindigkeit, Einsatzdauer).

Jeder Versuch einer Definition hätte sich aus den dargelegten Gründen an objektiven Eigenschaften einer Drohne zu orientieren. Bisher ist keine derartige Definition bekannt.

2.1.4 Der Begriff «Drohne» im internationalen Kontext

Ein Blick auf die internationale Rechtslage bringt leider keine Klärung der definitiven Probleme. In einem Rundschreiben betreffend unbemannte Luftfahrzeugsysteme der internationalen Zivilluftfahrtorganisation (ICAO) von 2011 tauchen die Begriffe «Flugmodelle» (*model aircraft*), «RPAS»¹¹ und zudem noch «autonome Fluggeräte» (*autonomous aircraft*) auf. Darin (ICAO 2011: 7) definiert die ICAO den Begriff «RPA» als

«[...] aircraft piloted by a licensed <remote pilot> situated at a <remote pilot station> located external to the aircraft (i.e. ground, ship, another aircraft, space) who monitors the aircraft at all times and can respond to instructions issued by ATC, communicates via voice or data link as appropriate to the airspace or operation, and has direct responsibility for the safe conduct of the aircraft throughout its flight».

¹⁰ Vgl. dazu Art. 7 der Verordnung über Waffen, Waffenzubehör und Munition vom 2. Juli 2008 (Waffenverordnung, WV; SR 514.541) in Verbindung mit Art. 4 und 40 des Bundesgesetzes über Waffen, Waffenzubehör und Munition vom 20. Juni 1997 (Waffengesetz, WG; SR 514.54).

¹¹ Definiert als: «A set of configurable elements consisting of a remotely-piloted aircraft, its associated remote pilot station(s), the required command and control links and any other system elements as may be required, at any point during flight operation.» (ICAO 2011, Glossary).

Diese Definition enthält die Voraussetzung, dass das System durch einen lizenzierten Piloten kontrolliert wird, der zwar ausserhalb des RPA situiert ist, jedoch zu jeder Zeit für die Flugsicherung ansprechbar ist. Der Begriff «Drohne» wird im Zirkular nicht explizit erwähnt.

Auch die ICAO plädiert im Grundsatz für eine Abgrenzung zwischen Flugmodellen und RPAS (ICAO 2011; ICAO 2015: 1–8); zu den Ersteren zählt sie ferngesteuerte Fluggeräte, die nur in der Freizeit zu privaten Zwecken verwendet werden. In einem Symposium im März 2015 hat die ICAO zudem festgehalten, dass sich Drohnen von den Modellluftfahrzeugen insofern unterscheiden, als sie über weitere Strecken und damit ausserhalb des sichtbaren Bereichs des Piloten (*beyond visual line of sight*, BVLOS) betrieben werden (im Gegenteil zu Modellflugzeugen (*visual line of sight*: VLOS)). Die ICAO hält aber gleichzeitig fest, dass es Überschneidungen geben wird, d.h., es kann Flugmodelle geben, die kommerziell eingesetzt werden, wie auch RPA, die für Freizeit Zwecke benutzt werden. Auch die Grenze zwischen RPAS und autonomen Fluggeräten ist fließend und angesichts der technischen Entwicklung im Bereich Drohnen wohl auch nicht sehr zielführend.

Die Luftfahrtbehörde *European Aviation Safety Agency* (EASA) wurde von der Europäischen Kommission im Jahr 2014 beauftragt, ein Regulierungskonzept im Bereich Drohnen zu erarbeiten.¹² Bereits im Jahr 2015 wurden vorläufige Ergebnisse vorgestellt und Interessierte wurden aufgefordert, sich am Prozess zu beteiligen (EASA 2015). Die Schwierigkeiten im Zusammenhang mit der Definition des Begriffs «Drohne» wurden bereits von Beginn weg thematisiert (EASA 2015: 2). Schliesslich veröffentlichte die EASA die «Prototype Commission Regulation on Unmanned Aircraft Operations» vom 22. August 2016 (EASA 2016b). Der Begriff «Drohne» fehlt nun vollständig im vorgeschlagenen Regulierungsvorschlag, er taucht aber in der *Explanatory Note* zum Regulierungsvorschlag an verschiedenen Stellen explizit auf, woraus ersichtlich wird, dass der vorgeschlagene Entwurf im Wesentlichen auf Drohnen zugeschnitten ist. Im Vorschlag wird ausschliesslich von «*unmanned aircraft*» als Grundbegriff ausgegangen. Darunter soll definitionsgemäss jedes Luftfahrzeug (*aircraft*) fallen, das ohne Pilot an Bord betrieben wird.¹³ Diese Definition hat im unmittelbaren Anschluss an die Veröffentlichung

¹² Vgl. zum Hintergrund: Zeitschrift für Europarecht 2014, Seite 90 f.

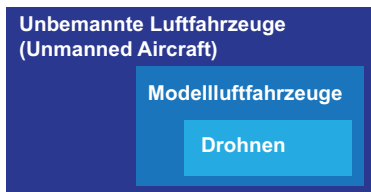
¹³ Vgl. EASA (2016: 5): ««UA» (unmanned aircraft) means any aircraft operated or designed to be operated without a pilot on board.»

des Vorschlags heftige Irritationen ausgelöst,¹⁴ weil – wie bereits heute in der Schweiz – keinerlei Abgrenzungen zu den Modellluftfahrzeugen vorgesehen sind. Inhaltlich wählt der Regulierungsvorschlag einen risikobasierten Ansatz, ähnlich wie er in der Schweiz bereits Anwendung findet (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.3.1).

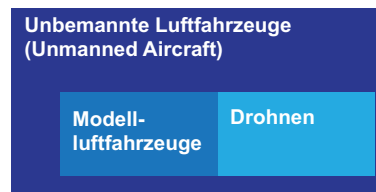
2.1.5 Mögliche Entwicklungen im Bereich Begriffsfassung

Die bisherigen Ausführungen machen deutlich, dass national und international sehr unterschiedliche Auffassungen zur begrifflichen Fassung von «Drohnen» bestehen, die in Abbildung 2 zusammengefasst sind. Es lässt sich aber auch feststellen, dass ein verbreiteter Wunsch besteht, Drohnen von Flugmodellen unterscheiden zu können, wobei die Unterscheidungsversuche rein auf den Nutzungszweck abzielen, was die bereits genannten Schwächen hat.

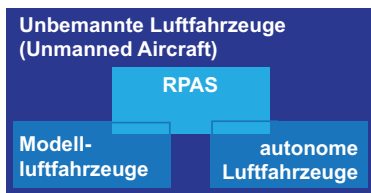
Istzustand CH-Gesetzgebung



Definitionsvorschlag SVZD/BAZL



ICAO-Abgrenzungsvorschlag



EASA-Regulierungsvorschlag

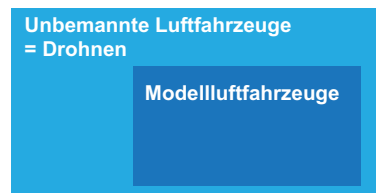


Abbildung 2: Bestehende Vorschläge zum Drohnenbegriff.

¹⁴ Vgl. z.B. <https://www.dmfv.aero/allgemein/easa-regelung-fuer-drohnen-soll-auch-modellflug-regeln/> – abgerufen am 2. März 2017; <http://www.aeroclub.ch/index.php/de/aero-club-der-schweiz/medias/archiv/715-regulierung-des-flugbetriebes-von-drohnen-vorschlagsentwurf-der-easa> – abgerufen am 2. März 2017, sowie auch SVZD, Kernbotschaften, Seite 20.

Es lässt sich weiter festhalten, dass die fehlende rechtliche Definition des Begriffs «Drohne» auf nationaler Ebene bisher durch die Zuordnung der Drohnen zu den Modellluftfahrzeugen «gelöst» wurde. Solange keine differenzierten Verfahren und Rechtsfolgen (Ausnahmebewilligungen etc.) festgelegt werden, ist eine Definition einer Drohne nicht zwingend notwendig. Auf jeden Fall sollte keine (zu enge) Definition und keine Definition anhand von Nutzungskriterien vorgenommen werden, da sonst unter Umständen unterschiedliche Rechtsfolgen für vollständig vergleichbare Sachverhalte vorgesehen würden. Dies würde das verfassungsrechtliche Gebot der Rechtsgleichheit verletzen. Jeder Definitionsversuch sollte sich an objektiven Eigenschaften orientieren. Falls eine rechtliche Gleichbehandlung von Flugmodellen und Drohnen im Grundsatz weiterhin beibehalten wird, sollte der Oberbegriff «Modellluftfahrzeuge» entweder angepasst werden oder es sollte ihm der Begriff «Drohnen» zur Seite gestellt werden (Modellluftfahrzeuge und Drohnen). Damit würde zum Ausdruck gebracht, dass Drohnen, die im Gegensatz zu Modellluftfahrzeugen keine grösseren Originale als Vorbild haben, den gleichen Vorschriften wie Modellluftfahrzeuge unterliegen. Unterschiedliche Regelungsfolgen könnten dann abhängig vom Verwendungszweck, nicht aber vom Begriff festgelegt werden.

Die vorgesehene internationale Definition bzw. die Ausdehnung des Begriffs auf sämtliche unbemannten Luftfahrzeuge basiert zwar ebenfalls auf dem schweizerischen Ansatz der grundsätzlichen Gleichbehandlung von Drohnen und Modellluftfahrzeugen, dehnt dadurch aber inhaltlich die vorwiegend drohnenspezifische Regelung auf andere Themen aus (mehr dazu in Kapitel 3).

Es steht für die Autoren – sowie für die befragten Regulierungsexperten – ausser Frage, dass sich die Schweiz einer allfälligen künftigen europäisch gültigen Definition (wie auch inhaltlichen Regelung) im Grundsatz anschliessen muss, soll sich die Drohnenindustrie in einem vereinheitlichten Wirtschafts- und Regulierungsraum entwickeln können (vgl. dazu auch die Ausführungen in Kapitel 3). Hier dürfte ein gewisses Konfliktpotenzial bestehen, denn in der Stakeholder-Befragung (Kapitel 4, Abschnitt 4.1.3.5) präferiert die Mehrzahl zwar eine möglichst liberale Regelung, gleichzeitig wird aber auch angenommen, dass ein Alleingang wenig wahrscheinlich erscheint.

2.1.6 Fazit zur Begriffsbestimmung

Der Begriff «Drohne» bezeichnet umgangssprachlich eine Klasse von bestimmten unbemannten Luftfahrzeugen. Dabei existiert allerdings keine einheitliche, rechtlich anerkannte Definition. Je nach Begriff wird einem unbemannten Luftfahrzeug entweder autonome Fähigkeiten attribuiert (z.B. beim Begriff «UAV») oder die Tatsache unterstrichen, dass ein Pilot das Luftfahrzeug fernsteuert (z.B. beim Begriff «RPA»). Das unterschiedliche, oft auch falsche Verwenden eines Begriffs ist ein Indikator für die Dynamik, von welcher die Drohnentechnologie zurzeit geprägt ist. Drohnen kommen in allen Erscheinungsformen vor: vom normalen Flächenflugzeug, Helikopterdrohnen bis hin zu Multikopterdrohnen sind jegliche denkbaren Konfigurationen möglich. Grundsätzlich existiert hier allerdings keine allgemein gültige Klassifizierung für Drohnen; Versuche orientieren sich zum Beispiel am Gewicht, der Reichweite oder der möglichen Flughöhe.

Aus einer rechtlichen Sichtweise gibt es die grosse Schwierigkeit, Modellluftfahrzeuge von Drohnen abzugrenzen. Eine saubere Trennung aller Stakeholder und Arten von Drohnen wäre für das Erstellen von neuen Regulationen eine Voraussetzung. Im Schweizer Recht ist der Begriff «Drohne» an sich nicht definiert, kann allerdings als Schnittmenge der Modellluftfahrzeuge gesehen werden. Daraus ergibt sich eine Situation, welche beim Vollzug des Rechts grossen Ermessungsspielraum schafft und die Basis für eine liberale Handhabung bildet. Eine begriffliche Unterscheidung von Drohnen und Modellluftfahrzeugen ist allerdings äusserst schwierig. Eine Unterscheidung über Einsatzzwecke ist problematisch; eine Definition über objektive Eigenschaften muss gefunden werden, damit diese sich selbst rechtlich nicht disqualifiziert. Eine entsprechende Definition ist allerdings noch nicht bekannt. Das Fehlen einer solchen Definition ist kein Schweizer Problem, sondern auch international ist keine Definition bekannt, welche den rechtlichen Anforderungen genügen und allen Stakeholdern gefallen kann. Es besteht jedoch weltweit der Wunsch, eine solche Abgrenzung von Drohnen und Modellluftfahrzeugen zu schaffen. Solange in der Schweiz keine je nach Klasse differenzierten Verfahren und Rechtsfolgen festgelegt werden, ist die Zuordnung der Drohnen zu den Modellluftfahrzeugen durchaus zweckmässig. Dass sich die Schweiz allerdings einer eventuellen europäisch geltenden Definition anschliessen muss, steht ausser Frage.

Im Rahmen der vorliegenden Studie sind wir deshalb zum Schluss gekommen, dass eine begriffliche Unterscheidung zwischen Modellluftfahrzeugen und Drohnen technisch nicht exakt gemacht werden kann, aber auch nicht zwingend notwendig erscheint, weil unterschiedliche Regulierungsfolgen (nicht aber die Definition als solche) über verschiedene Einsatzzwecke definiert werden könnten. Störend wirkt allerdings der Umstand, dass der Begriff «Modellluftfahrzeug» derzeit als gesetzlicher Oberbegriff erscheint, was bereits rein etymologisch nicht überzeugt: der Begriff «Modellluftfahrzeug» deutet darauf hin, dass es sich um eine Miniaturisierung eines grösseren Originals (z.B. Flugzeug oder Helikopter) handelt, was bei Drohnen in der Regel gerade nicht der Fall ist (vgl. zum Ganzen auch Henseler [im Erscheinen]). Im Zuge der (vorgeschlagenen) Bereinigung der gesetzlichen Grundlagen (siehe Kapitel 5) sollte diesem Umstand Rechnung getragen werden durch die Schaffung eines geeigneten Überbegriffs über die Unterkategorien Flugmodelle und Drohnen, die sich dann lediglich insofern von Flugmodellen unterscheiden, als sie keine «grösseren Vorbilder» haben.

2.2 Einbindung von Drohnen in den Luftraum und den Luftverkehr

Für eine professionelle Nutzung von Drohnen muss deutlich werden, wie diese in das heutige Schweizer Luftraumsystem integriert werden können und welche Anpassungen an diesem System nötig werden. Zu diesem Zweck führt dieser Abschnitt in die Grundlagen des Schweizer Luftraumsystems ein.

2.2.1 Der Schweizer Luftraum

Der europäische Luftraum ist in Fluginformationsgebiete (*flight information region*, FIR) unterteilt. Der Luftraum über der Schweiz gehört vollständig zur FIR Switzerland. Die Flugsicherung in der FIR Switzerland obliegt skyguide. Der Luftraum ist in sieben sogenannte ICAO-Luftraumklassen gegliedert; die Lufträume der Klassen A, B, C, D und E sind kontrollierte Lufträume (siehe Abschnitt 2.2.1.1), die Lufträume F und G unkontrollierte Lufträume (Abschnitt 2.2.1.2).

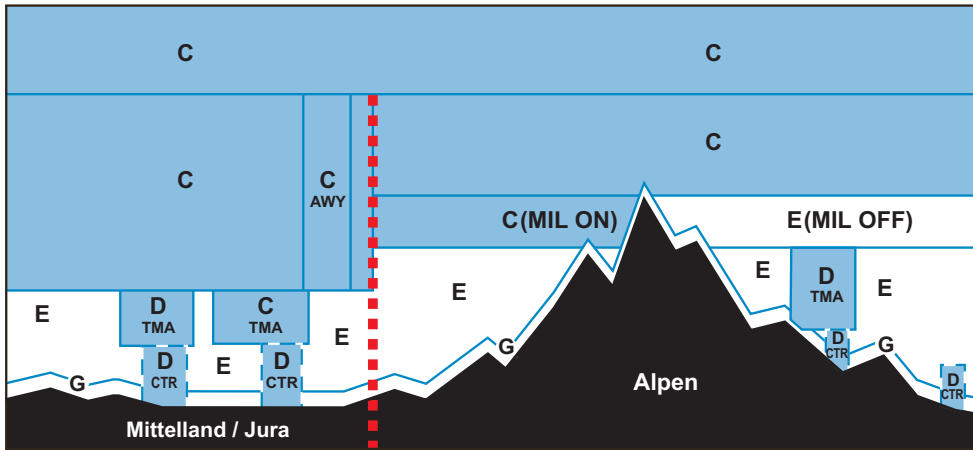


Abbildung 3: Luftraumstruktur der FIR Switzerland (adaptiert aus: Skyguide 2017: 112).

Innerhalb der FIR Switzerland wird der Luftraum in die vier Klassen C, D, E und G eingeteilt, was weitgehend den Empfehlungen der ICAO entspricht; den Luftraumklassen A, B und F wurden momentan keine Teile des schweizerischen Luftraumes zugeteilt (Skyguide 2017). Abbildung 3 verdeutlicht die Struktur des schweizerischen Luftraums. Der unkontrollierte Luftraum G (Golf) reicht immer vom Boden bis 2000 Fuss über Grund. Er zieht sich somit wie ein Teppich über die Schweiz hinweg. Ausgenommen sind die Kontrollzonen von Flugplätzen (*Control Zone*, CTR), welche bis an den Boden reichen und die Nahkontrollbezirke von Flughäfen (*Terminal Aerea*, TMA) mit tiefen Untergrenzen. Der obere Luftraum steht als Luftraum C (Charlie) flächendeckend unter der Kontrolle der Flugsicherung. Seine Untergrenze liegt im Jura und Mittelland auf Flugfläche 100 (FL100), das sind 10'000 Fuss über Meereshöhe. In den Alpen liegt die Untergrenze zu militärischen Flugbetriebszeiten auf FL130, ausserhalb der militärischen Flugbetriebszeiten auf FL150. Durch den Luftraum C führen auch die Luftstrassen der Verkehrsluftfahrt. Ausserhalb von CTR und TMA liegt der Luftraum E (Echo) als Puffer zwischen Golf und Charlie.

Die Luftraumklassen unterscheiden sich vor allem darin, wie die Luftfahrzeuge durch die Flugsicherung gestaffelt werden. Das heisst, der Fluglotse ist in seinem Sektor dafür verantwortlich, die Flugzeuge so zu lotsen, dass es nicht zu gefähr-

lichen Annäherungen kommt; in der Fachsprache: «Er staffelt die Luftfahrzeuge.» Für den Betrieb von Drohnen ist dabei vor allem massgeblich, wie der Sichtflugverkehr (VFR-Verkehr, siehe Abschnitt 2.2.2.1) gegenüber dem Instrumentenflugverkehr (IFR-Verkehr, Abschnitt 2.2.2.2) gestaffelt wird. Für den Sichtflug gelten zudem je nach Luftraumklasse bestimmte Mindestsichtweiten und minimale Wolkenabstände, die eingehalten werden müssen (Tabelle 2).

2.2.1.1 Kontrollierter Luftraum

Im kontrollierten Luftraum wird der Flugverkehr von der Flugsicherung überwacht und je nach Luftraumklasse gestaffelt (siehe Staffelung in Tabelle 2). Die Flugsicherung ist dabei bestrebt, den kompletten Instrumentenflugverkehr (IFR-Verkehr, siehe Abschnitt 2.2.2.2) möglichst innerhalb der Lufträume C (Charlie) und D (Delta) abzuwickeln, da sie dort dem Sichtflugverkehr (VFR-Verkehr, siehe Abschnitt 2.2.2.1) Anweisungen erteilen kann.

Tabelle 2: Luftraumklassen der FIR Switzerland und ihre Eigenschaften bzw. Eignung für Drohnen.¹⁵

Luftraum- klasse	C	D	E	G
Staffelung	IFR-Verkehr wird zu anderem IFR-Verkehr und zu VFR-Verkehr gestaffelt. VFR-Verkehr erhält Verkehrsinformationen über anderen VFR-Verkehr.	IFR-Verkehr wird zu anderem IFR-Verkehr gestaffelt und erhält Verkehrsinformationen über VFR-Verkehr. VFR-Verkehr wird nicht gestaffelt und er-	IFR-Verkehr wird zu anderem IFR-Verkehr gestaffelt. Verkehrsinformationen über VFR-Verkehr werden jeglichem	Staffelung erfolgt nicht. Verkehrsinformationen über anderen Flugverkehr werden soweit möglich erteilt.

¹⁵ **Anforderung A:** Ein durch das BAZL zugelassenes «Detect and avoid»-System, welches die gleiche oder eine höhere Sicherheit bietet als see and avoid + Sprachkommunikation zwischen Fluglotse und Drohnenpilot. **Anforderung B:** IFR-Ausrüstung der Drohne + Sprachkommunikation zwischen Fluglotse und Drohnenpilot + Steuerung der Drohne durch Drohnenpilot + Befreiung von der Pflicht zum «sehen und gesehen werden» durch das BAZL. **Anforderung C:** Entspricht Anforderung A ohne das Erfordernis der Sprachkommunikation zwischen Fluglotse und Drohnenpilot.

		hält nur Verkehrs- informationen über anderen Flug- verkehr.	Flugverkehr soweit mög- lich erteilt.	
Höchst- geschwindig- keit	IFR: nein VFR: 250 Kno- ten unterhalb FL100	250 Knoten	250 Knoten	250 Knoten
Spezifische Anforderungen an den Sichtflug				
Freigabe zum Einflug durch die Flug- sicherung er- forderlich?	ja	ja	nein	nein
Hörbereit- schaft auf der Flugfunk- frequenz der Flugsiche- rung?	ja	ja	nicht erforderlich	nicht erforderlich
Minimaler horizontaler Wolken- abstand?	1500 m	TMA: 1500 m CTR: frei von Wolken	1500 m	frei von Wolken
Minimaler vertikaler Wolken- abstand?	1000 ft	TMA: 1000 ft CTR: frei von Wolken, Hauptwolken- untergrenze 1500 ft über Grund	1000 ft	frei von Wolken
Minimale horizontale Sichtweite?	8 km über FL100 5 km unter FL100	TMA: 5km CTR: 5 km und Boden- sicht, d.h. hori- zontale Sicht- weite am Boden 5 km	8 km	Flugzeuge: 1500 m Helikopter, Luftschiffe und Ballons: 800 m
Minimale Schrägsicht?	nein	nein	nein	Erdsicht, d.h. freie Sicht auf den Erdboden

Nutzung der Luftraum-Klasse durch Drohnen				
Können heute Drohnen in diesen Klassen fliegen?	nein	TMA: nein CTR: nur mit Genehmigung der für die CTR verantwortlichen Flugsicherungsstelle	VLOS: nein BVLOS: nur mit spezifischer Genehmigung des BAZL	VLOS: ja BVLOS: nur mit spezifischer Genehmigung des BAZL
Anforderungen an Drohnen, damit diese dort fliegen können?	Anforderung A oder B	Anforderung A oder B	Anforderung C	BVLOS: Anforderung C

Eine Separation von Luftfahrzeugen, die nach Instrumenten oder nach Sicht unterwegs sind, ist im Regelfall so sichergestellt. Sollte es dennoch zu einer gefährlichen Annäherung zweier Luftfahrzeuge kommen, dann sind Luftfahrzeuge einer bestimmten Grösse (Passagierflugzeuge, Frachtflugzeuge, Business Jets) mit einem Kollisionswarnsystem ausgerüstet, dem *Airborne Collision Avoidance System* (ACAS; siehe Abschnitt 2.2.3). Zudem gilt das Prinzip «sehen und gesehen werden» inklusive der zugehörigen Ausweichregeln auch im kontrollierten Luftraum. Bei minimaler Sicht, also insbesondere beim Flug in Wolken kann «sehen und gesehen werden» jedoch kaum effektiv angewendet werden.

Der Luftraum E (Echo) zählt zwar ebenfalls zum kontrollierten Luftraum. Dort brauchen VFR-Flüge jedoch keine Freigabe und müssen auch keine Hörbereitschaft auf der Flugsicherungsfrequenz halten. Der Fluglotse sieht den VFR-Verkehr nur auf seinem Radar, wenn das Luftfahrzeug ein ausreichendes Radarecho produziert oder einen Transponder mit sich führt und dieser eingeschaltet ist. Gleitschirm- und Drachenflieger, die keinen Transponder mit sich führen, erscheinen nicht auf dem Radarbild. Der Fluglotse kann im Luftraum Echo somit nur den IFR-Verkehr untereinander staffeln. Ist zum Beispiel ein Verkehrsflugzeug IFR im Luftraum Echo unterwegs, dann muss die Besatzung trotzdem wie im Sichtflug durch die Cockpitfenster nach draussen schauen, um eine Kollision mit dem VFR-Verkehr zu vermeiden. De facto ist ein sicherer Flug im Luftraum Echo also nur möglich, wenn die Sichtflugregeln eingehalten werden können.

Demnach könnten Drohnen bereits heute im kontrollierten Luftraum betrieben werden, solange sich dieser Betrieb auf die Luftraumklassen C (Charlie) und D (Delta) beschränkt. Dies setzt jedoch drei Dinge voraus. Erstens muss die Drohne über die gleichen Bordsysteme wie jedes andere IFR-Flugzeug verfügen (Autopilot, Radionavigation etc.). Zweitens muss der Drohnenpilot an der Bodenstation in der Lage sein, die gleichen Aufgaben zu erfüllen, wie wenn er an Bord des Flugzeugs wäre. Dazu zählen insbesondere die Kommunikation mit dem Fluglotsen und die Möglichkeit, Anweisungen des Fluglotsen als Steuerkommandos an die Drohne zu schicken. Drittens muss der Gesetzgeber die Drohne in den Lufträumen C und D von der Pflicht zum «sehen und gesehen werden» befreien unter der Voraussetzung, dass die Staffelung durch die Flugsicherung und das ACAS genügend Kollisionssicherheit bieten. In der Praxis bieten nur entsprechend grosse Drohnen die Zuladung für die notwendige Bordelektronik. So ist etwa geplant, dass die neuen Drohnen der Schweizer Luftwaffe ADS-15 zukünftig im kontrollierten Luftraum operieren können.

2.2.1.2 Unkontrollierter Luftraum

Im unkontrollierten Luftraum wird der Flugverkehr nicht von der Flugsicherung überwacht und gestaffelt (Luftraum G). Auch wenn Instrumentenflug dort nicht verboten ist, müssen von allen Luftverkehrsteilnehmern die Ausweichregeln des Sichtflugs angewendet werden, um Zusammenstösse zu verhindern. Es gilt das Prinzip «sehen und gesehen werden» (*see and avoid*).

Betreiber von ferngesteuerten Fluggeräten gehen oft davon aus, dass im untersten Höhenband des unkontrollierten Luftraums keine Luftfahrt stattfindet. Diese Annahme ist falsch. Zwar sind Piloten generell dazu angehalten, ausser bei Start und Landung in mindestens 500 Fuss über Grund zu fliegen. In der Praxis geht dies jedoch nicht immer. Beispiele sind Ballonfahrer, Gleitschirmpiloten und Segelflieger, die auf einem Acker landen müssen, oder Rettungshubschrauber, die ausserhalb von Flugplätzen und Heliports landen und starten. Insbesondere in den Alpen sind Gleitschirme und Segelflugzeuge oft nah am Hang unterwegs. Zudem werden Helikopter zur Forstwirtschaft und in den Alpen zum Personen- und Materialtransport eingesetzt. Drohnen, die im unkontrollierten Luftraum betrieben werden sollen, müssen also in der Lage sein, das Prinzip «sehen und gesehen werden» uneingeschränkt zu erfüllen.

2.2.1.3 Mögliche Operationsgebiete von Drohnen

Die bisherigen Ausführungen machen deutlich, dass je nach Luftraumklasse unterschiedliche Anforderungen an Drohnen gestellt werden müssen. Einheitliche Regelungen sind hierfür in ausgewählten europäischen Staaten aber noch nicht vorhanden (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Regulierungen in ausgewählten europäischen Staaten (EASA 2016b: 80). SORA: Specific Operations Risk Assessment.

Land	Kategorien	BVLOS erlaubt?	Maximale Flughöhe
Deutschland	< 5 kg 5–25 kg > 25 kg	ja, nur in kontrollierten Lufträumen	100 m
Frankreich	keine (4 Szenarien)	ja	150 m (< 2 kg) 50 m (> 2 kg)
Niederlande	keine	nein	120 m
Schweiz	< 30 kg > 30 kg	ja, gemäss SORA	keine (150 m in CTR)

Ein Ansatz zur Vereinheitlichung hat kürzlich die Europäische Organisation zur Sicherung der Luftfahrt Eurocontrol veröffentlicht (Eurocontrol 2017). Im Februar 2017 erschien ein *Concept of Operation*, das beschreibt, wie RPAS im europäischen Luftraum betrieben werden könnten und welche Regeln und Technologien dafür eingeführt werden sollten. Es werden dabei insbesondere die folgenden Einsatzgebiete von RPAS unterschieden:

- **Very High Level Operations (VHL):** Hier handelt es sich um suborbitale Flüge über 60'000 Fuss (FL 600) für sogenannte *High Altitude Long Endurance* RPAS. Solche Drohnen könnten für Kommunikationszwecke als Relaisstationen oder neuartige Geschäftsfelder wie «Weltraumtourismus» (Virgin Galactic) genutzt werden.
- **IFR/VFR Operations:** Hier geht es um den Betrieb im selben Luftraum wie die Zivilluftfahrt, wie z.B. bei Flughäfen (Kontrollzone der Flughäfen), Nahzonen von Flughäfen, in Flugrouten und -korridoren. Hier müssten die Anforderungen bezüglich Sicherheit, Zuverlässigkeit

und Redundanz auf demselben Niveau wie in der Zivilluftfahrt oder höher sein.

- **Very Low Level Operations (VLL):** Hier geht es um RPAS-Operationen unter 500 Fuss. Im Zentrum steht hier die Integration der verschiedenen Luftraumteilnehmer wie Luftwaffe, Polizei, Schutz und Rettung, Segelflieger, Ballone, Gleitschirme, Passagier- und Geschäftsfliegerei, Ultraleichtflugzeuge. Bezüglich RPAS wird zwischen VLOS und BVLOS unterschieden. Als zwingende Erfordernisse werden Verfahren für *detect and avoid* (Antikollisionssysteme) sowie *command* und *control link* (Datenkommunikation) mit entsprechenden Redundanzen genannt.

Im Zentrum dieses Vorschlags steht die Koordination des Drohnenverkehrs unter 500 Fuss. Dafür soll ein *Air Traffic Management System* für Drohnen eingeführt werden, was in Abschnitt 2.2.4 ausgeführt wird.

2.2.2 Flugbetriebsverfahren

Die Flugbetriebsverfahren mit unbemannten Luftfahrzeugen unterscheiden sich durch den dislozierten Arbeitsplatz des Drohnenpiloten von denen der bemannten Luftfahrt. Unbemannte Luftfahrzeuge müssen jedoch die gleichen Regeln einhalten wie bemannte Luftfahrzeuge. Nur so kann eine gemeinsame Nutzung des Luftraums stattfinden. Die Regeln der bemannten Luftfahrt unterscheiden dabei zwischen Sicht- und Instrumentenflug.

2.2.2.1 Sichtflug (VFR)

Der Flug nach Sichtflugregeln (*Visual Flight Rules*, VFR) ist der bemannten Luftfahrt vorbehalten. Die Sichtflugregeln beinhalten Vorschriften, die festlegen, wie die Luftfahrzeuge einander ausweichen müssen – ähnlich den Vorfahrtsregeln im Strassenverkehr.

Im Sichtflug gilt das Prinzip «sehen und gesehen werden» (*see and avoid*), was entsprechend ausgereifte kognitive Fähigkeiten bedingt. Das heisst, ohne einen Piloten an Bord kann kein Sichtflug durchgeführt werden, denn solche kognitiven Fähigkeiten können vorerst noch nicht mit einer künstlichen Intelligenz repliziert

werden. Zudem ist auf absehbare Zeit nicht zu erwarten, dass künstliche Intelligenz derart verfügbar ist, dass ein autonomes Fluggerät «See and avoid»-Fähigkeiten hat, denn die Befolgung dieses Prinzips ist nicht nur eine Frage der Wahrnehmung, sondern auch der Erkennung potenzieller Absichten des Gegenübers.

Obwohl unbemannte Fluggeräte nicht nach Sicht geflogen werden können, können diese in Luftraumklassen mit VFR betrieben werden. Voraussetzung für einen solchen Mischverkehr von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen ist aber, dass das unbemannte Luftfahrzeug mit einem Kollisionsschutzsystem ausgerüstet ist (siehe Abschnitt 2.2.3). Ein solches System erkennt über elektronische Sensoren die anderen Luftverkehrsteilnehmer rechtzeitig und kann bei Bedarf Manöver einleiten, die den VFR-Ausweichregeln entsprechen (*detect and avoid*).

2.2.2.2 Instrumentenflug (IFR)

Beim Flug nach Instrumentenflugregeln (*Instrument Flight Rules*, IFR) wird der Verkehr durch die Flugsicherung überwacht und gestaffelt. Die Luftfahrzeugbesatzung erhält dabei Anweisungen von einem Fluglotsen. Diese Anweisungen werden heute per Sprechfunk übermittelt. Um IFR-Mischverkehr von bemannten und unbemannten Luftfahrzeugen zu realisieren, gibt es daher vier Szenarien:

- 1) Das erste Szenario geht davon aus, dass die Kommunikation über Sprechfunk beibehalten wird. Damit eine Drohne am IFR-Verkehr teilnehmen kann, wäre demnach eine Sprechverbindung zwischen Drohnenpilot und Fluglotse notwendig. Diese muss nicht über Funk, sondern könnte auch via Mobiltelefonie aufgebaut werden. Der Drohnenpilot steuert die Drohne dann gemäss den Anweisungen des Fluglotsen. Dazu muss die Bodenstation über ein *Flight Management System* und eine *Flight Control Unit* verfügen.
- 2) Im zweiten Szenario wird der Sprechfunk durch Datenfunk (Data Link)¹⁶ zwischen Luftfahrzeug und Flugsicherung ersetzt. Langfristig erhält man so ein einheitliches Kommunikationsverfahren für bemannte und unbemannte Luftfahrzeuge. Viele ältere Flugzeuge und Helikopter werden jedoch gar nicht auf Datenfunk umgerüstet werden können. Das heisst,

¹⁶ Unter Datenfunk versteht man das Erteilen von Anweisungen durch die Flugsicherung über eine Datenleitung in schriftlicher oder anderer Form anstelle von akustischen Anweisungen über eine Sprechfrequenz.

- kurzfristig sind aufseiten der Flugsicherung Verfahren notwendig, die zumindest mit einem Teil der bemannten Luftfahrzeuge weiterhin via Sprechfunk kommunizieren und gleichzeitig mit dem RPAS via Datenfunk.
- 3) Das dritte Szenario verzichtet auf ein einheitliches Kommunikationsverfahren für bemannte und unbemannte Luftfahrzeuge. Stattdessen wird für unbemannte Luftfahrzeuge ein eigenes Flugverkehrsmanagement aufgebaut. Tatsächlich gibt es weltweit Initiativen, die derzeit ein solches *Unmanned Air Traffic Management* (UTM resp. U-Space) entwickeln (siehe Abschnitt 2.2.4). U-Space bedingt, dass – wie in Szenario 2 – aufseiten der Flugsicherung Verfahren ausgearbeitet und implementiert werden, die bemannten und unbemannten IFR-Verkehr koordinieren, denn beide Partner nutzen den gleichen Luftraum.
 - 4) Im vierten Szenario ist die Drohne mit einem Spracherkennungssystem (*Voice Recognition System*) ausgerüstet. Die Kommunikation läuft wie im ersten Szenario über Sprechfunk, mit dem Unterschied, dass jetzt die Drohne direkt mit dem Fluglotsen kommuniziert. Der Drohnenpilot kann sich bei Bedarf in die Kommunikation einklinken. Dieses Szenario setzt jedoch wesentliche Fortschritte in der maschinellen Spracherkennung voraus. Entsprechende Software existiert zwar, allerdings gibt es Indizien, dass die Fehlerquote je nach Umgebungslärmpegel noch zu hoch ist, als dass ein sicherer Betrieb gewährleistet wäre.

2.2.2.3 Betrieb von Drohnen in direktem Sichtkontakt (VLOS)

Gemäss derzeit geltender Rechtslage in der Schweiz ist direkter Sichtkontakt obligatorisch, um Drohnen ohne Spezialbewilligung des BAZL betreiben zu dürfen. Der Drohnenpilot muss also während des gesamten Fluges Blickkontakt zu seinem Fluggerät haben; das Fluggerät muss in *Visual Line of Sight* (VLOS) sein. Dies bedingt insbesondere, dass der Drohnenpilot Fluglage und Flugrichtung der Drohne jederzeit eindeutig erkennen können muss, um einen sicheren Flugbetrieb zu gewährleisten.

Mit der trigonometrischen Funktion Tangens lässt sich einfach berechnen, auf welche Entfernung eine Person ein Flugobjekt überhaupt erkennen kann. Dazu legt man die Gebrauchssehschärfe zugrunde. Sie beträgt 3 Bogenminuten oder 0.05° .

Gemäss Abbildung 4 gilt:

$$\text{Maximale Sichtentfernung} = (\text{Breite des sichtbaren Querschnitts}/2) / \text{Tangens } (0.05^\circ/2)$$

Nimmt man zum Beispiel an, dass die Breite des sichtbaren Querschnitts bei einem Airbus A380 20 Meter beträgt, dann resultiert daraus eine maximale Sichtentfernung von 23 Kilometern. Vergleicht man dies mit dem Rumpf der Drohne DJI Mavic (85 Millimeter Querschnitt) und setzt man diesen Wert in die obige Formel, dann berechnet sich die maximale Entfernung, in der die DJI Mavic noch sicher erkannt werden kann, auf lediglich 97 Metern.

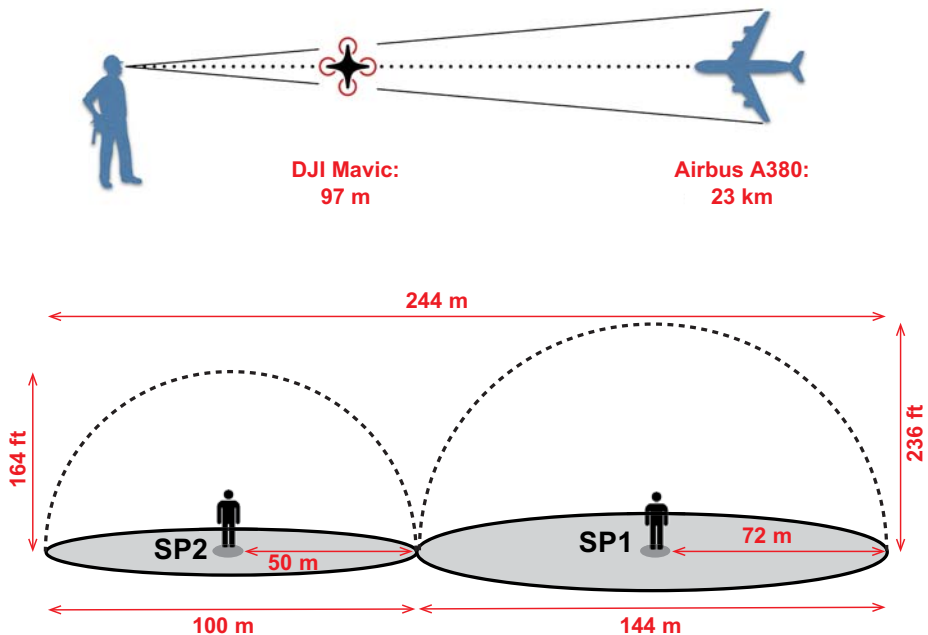


Abbildung 4: Erkennbarkeit von Drohnen auf Sicht. Oben: Maximale Entfernung in der ein Flugobjekt noch erkannt werden kann. Unten: Sichere maximale Flugentfernung zweier Drohnen bei direktem Sichtkontakt.¹⁷

¹⁷ Quelle: Peter Lenhart, *Integrating drones into civil air traffic – challenges and concepts*, ICAS Workshop «Intelligent and Autonomous Technologies in Aeronautics», Winterthur 11. September 2017

Das Zentrum für Aviatik der ZHAW hat diese theoretische Berechnung durch praktische Flugversuche bestätigt. Dazu wurden Flüge mit zwei unterschiedlich grossen Multikopterdrohnen durchgeführt – mit einem X4-240-Multikopter¹⁸ und einem X4-350-Multikopter. Der X4-350 ist ähnlich gross wie die DJI Mavic. Für ihn wurde eine maximale Entfernung von 72 Metern ermittelt, bei der der Drohnenpilot Fluglage und Flugrichtung noch eindeutig erkennen kann (SP1 in Abbildung 4 unten). Für den kleineren X4-240 waren es gar nur 50 Meter (164 Fuss) (SP2). Das heisst, geht es nicht nur um die Erkennung des Flugobjektes selbst, sondern die Person muss auch Fluglage und Richtung bestimmen, dann ist die maximale Sichtentfernung, die sich mit der obigen Formel berechnen lässt, eine Obergrenze.

Wie sieht die Sachlage für einen relativ grossen Multikopter aus, also einen nahe dem Gewichtslimit von 30 Kilogramm? Nehmen wir an, dass die Breite seines sichtbaren Querschnitts circa 50 cm ist, dann resultiert aus der obigen Formel ein Aktionsradius von etwas weniger als 600 Meter. Das heisst, der Aktionsradius ist selbst bei einem grösseren Fluggerät recht gering, solange direkter Blickkontakt gehalten werden muss. Viele der vor allem kommerziell interessanten Anwendungen sind also im VLOS-Betrieb nur sehr eingeschränkt möglich.

Ein weiterer kritischer Punkt betrifft den Drohnenpiloten. Beim Flug in VLOS ist dieser für eine sichere Flugdurchführung verantwortlich. Er muss drohende Kollisionen rechtzeitig erkennen und angemessen darauf reagieren; er erfüllt hier also die gleiche Aufgabe wie der Pilot eines Flugzeugs beim Sichtflug. Während sich Flugzeugbesatzungen jedoch einer regelmässigen flugmedizinischen Untersuchung unterziehen müssen, bei der vor allem auch die Sehfähigkeit geprüft wird, gibt es entsprechende Auflagen für Drohnenpiloten bislang nicht. Es ist also der Verantwortung und der situativen Einschätzung des Drohnenpiloten überlassen, ob er seinen Sichtkontakt zur Drohne als ausreichend definiert. Insbesondere bei Fluggeräten, bei denen der Autopilot die Lageregelung übernimmt, darf davon ausgegangen werden, dass das VLOS-Kriterium oft ausgereizt wird. Das heisst, der Drohnenpilot deklariert in einem solchen Fall unter Umständen auch dann noch Sichtkontakt, wenn das Fluggerät für ihn nur noch als Punkt erkennbar ist.

¹⁸ Generische Bezeichnung für eine Konfiguration und Rahmengrösse eines Multikopters. X4 bezeichnet einen X-förmigen Rahmen mit vier Motoren, die Nummer 240 nach dem Strich bezeichnet die Rahmenbreite in Millimeter (240 mm).

2.2.2.4 Betrieb von Drohnen ohne direkten Sichtkontakt (BVLOS)

Wie die vorangegangenen Ausführungen deutlich machen, verliert ein Drohnenpilot, streng genommen, den direkten Sichtkontakt zu seinem Fluggerät spätestens dann, wenn es sich mehr als 600 Meter von ihm entfernt; je kleiner das Fluggerät, desto früher. Dieser Wert gilt zudem nur für einen normalsichtigen Piloten (Visus 1.0) und bei guten Sichtbedingungen. Blendung durch Sonnenlicht, Nebel, Dunst oder Dunkelheit können den Sichtkontakt auch bei geringer Entfernung abbrechen lassen. Das Gleiche gilt, wenn die Drohne hinter Gebäuden, Hügeln oder anderen Hindernissen verschwindet. Eventuell beträgt die Luftlinie zwischen Drohnenpilot und Drohne nur 10 oder 20 Meter, aber das Fluggerät ist für den Piloten trotzdem nicht sichtbar. In all diesen Fällen spricht man vom Flug ohne direkten Sichtkontakt, die Drohne ist *beyond visual line of sight* (BVLOS).

Damit BVLOS sicher geflogen werden kann, muss das Drohnensystem über Schutzmechanismen verfügen, die sowohl eine Kollision mit bodengebundenen Hindernissen als auch mit anderen Luftfahrzeugen verhindern. Da immer mit einem Verlust der Funkverbindung zur Bodenstation bzw. zur Fernbedienung gerechnet werden muss, müssen diese Funktionen als automatisch funktionierende Module an Bord der Drohne installiert sein. Dies bedingt, dass die Drohne über Sensoren verfügt, deren Sensordaten in Echtzeit an Bord ausgewertet werden, sodass daraus Steuerkommandos für den Autopiloten resultieren.

In der bemannten Luftfahrt sind Zwischenfälle und Unfälle, bei denen menschliches Fehlverhalten eine Rolle spielt, fast immer auf einen Verlust des Situationsbewusstseins zurückzuführen (*Loss of Situation Awareness*). In Konsequenz muss bei BVLOS-Flügen ferngesteuerter Luftfahrzeuge die Bodenstation dem Piloten jederzeit ein komplettes Bild der Situation liefern. Nur so kann er die richtigen Entscheidungen treffen. Das heisst, die Sensordaten der Drohne müssen nicht nur an Bord verarbeitet werden (siehe oben), sondern auch an die Bodenstation gesendet werden. Dies erfordert eine weitreichende, breitbandige Funkverbindung.

Allein aus diesen Anforderungen an das Fluggerät, die Datenübertragung und die Bodenstation ist unschwer zu erkennen, dass der Betrieb BVLOS im Vergleich zu VLOS mit wesentlich höherem technischen, operationellen und organisatorischen Aufwand verbunden ist. Insbesondere existieren bislang noch keine ausgereiften

technischen Lösungen, um nicht kooperativen Flugverkehr im unkontrollierten Luftraum zuverlässig zu detektieren und diesem auszuweichen (*detect and avoid*). Für Sichtflüge existiert nämlich keine Pflicht, einen Kollisionswarnsender mitzuführen. Transponder dürfen zudem im unkontrollierten Luftraum abgeschaltet sein. Wenn Segelflugzeuge ein FLARM-Kollisionswarngerät (siehe nachfolgenden Abschnitt) mit sich führen, dann geschieht dies auf freiwilliger Basis. Die meisten Gleitschirm- und Drachenflieger sind heute meist ohne Transponder oder FLARM ausgestattet, wobei allerdings Projekte existieren, auch diese Luftraumteilnehmer mit FLARM auszurüsten. Das heisst, es bräuchte Kameras (TV, Infrarot) oder Abstandssensoren (Radar, LiDAR) an Bord einer Drohne, um diese anderen Luftverkehrsteilnehmer zuverlässig zu erfassen. Zudem braucht es eine Bilderkennung (Software und Hardware), die die Sensordaten in Echtzeit auswerten kann. Ohne diese Fähigkeiten bleibt der Betrieb BVLOS auf den kontrollierten Luftraum der Klassen C und D, auf Flüge bei Nacht und auf kleinräumige Flüge nah an Gebäuden und Topografie beschränkt, also auf Bereiche, in denen per se kein unkontrollierter Sichtflug stattfindet.

2.2.3 Kollisionsschutzsysteme

Wie oben erläutert, ist ein funktionierendes Kollisionsschutzsystem eine zentrale Voraussetzung, um Drohnen ohne direkten Sichtkontakt zum Drohnenpiloten (BVLOS) zu betreiben. Vor allem für den Flug im unkontrollierten Luftraum und für den Flug im kontrollierten Luftraum E muss das Kollisionsschutzsystem die Aufgabe übernehmen, die im Sichtflug der Pilot übernimmt, nämlich andere Luftfahrzeuge rechtzeitig zu erkennen und bei Bedarf Ausweichmanöver einzuleiten. Die Herausforderung der unbemannten Luftfahrt ist somit, die Fähigkeit des *see and avoid* in einem technischen System nachzubilden – aus *see and avoid* wird *detect and avoid* (synonym *sense and avoid*).

Hinzu kommt ein weiteres Problem: Da Drohnen in der Regel kleiner sind als bemannte Luftfahrzeuge, kann ein Pilot im Sichtflug sie mit dem blossen Auge wesentlich schwerer erkennen. *Detect and avoid* kann in diesem Fall daher nicht als Realisierung des Prinzips «sehen und gesehen werden» gelten, denn der Pilot des bemannten Fluggeräts wird die Drohne in der Regel nicht sehen. Die Ausweichregeln der bemannten Luftfahrt sind deshalb nicht direkt auf unbemannte Luftfahrzeuge übertragbar. Vielmehr sollte das Ausweichmanöver immer von der Drohne

eingeleitet werden; und zwar früh genug, sodass es im anderen Luftfahrzeug zu keinem Kollisionsalarm kommt.

In der Schweiz fördert die armasuisse W+T ein Projekt zur Entwicklung eines «Detect and avoid»-Systems. Es soll bei der Luftwaffe in den neuen Aufklärungsdrohnen ADS-15 zum Einsatz kommen (Wick 2013). Ab wann die Drohnen der Schweizer Luftwaffe damit ausgerüstet werden, steht jedoch noch nicht fest.

In der Verkehrs- und Geschäftsluftfahrt gibt es bereits ein Kollisionsschutzsystem, das sogenannte *Airborne Collision Avoidance System* (ACAS) bzw. *Traffic Collision Avoidance System* (TCAS). In Europa müssen alle Flugzeuge mit mehr als 19 Sitzen oder mehr als 5700 kg maximalem Startgewicht mit ACAS ausgerüstet sein. Es handelt sich um ein sogenanntes «kooperatives System», d.h., mit ACAS ausgerüstete Flugzeuge tauschen ihre Positionsdaten via ACAS aus und stimmen eventuell notwendige Ausweichmanöver ebenfalls mittels Datenaustausch aufeinander ab.

Es darf erwartet werden, dass grössere Drohnen, die zusammen mit der Verkehrsluftfahrt im kontrollierten Luftraum unterwegs sein werden, ebenfalls mit ACAS ausgerüstet werden müssen, also beispielsweise die ADS-15 der Schweizer Luftwaffe. Für kleine Drohnen ist ACAS jedoch unbrauchbar. Die Hardware und die Antennen wurden für grosse Flugzeuge entwickelt; sie haben entsprechende Baugrössen und Strombedarf. Aus diesem Grund gibt es auch kein ACAS für kleine Flugzeuge (Sportflugzeuge, Segelflugzeuge). Das heisst, im unkontrollierten Luftraum wird der Grossteil der Luftverkehrsteilnehmer (also auch Gleitschirme und Drachenflieger) erst gar nicht von ACAS detektiert.

In der allgemeinen Luftfahrt in Europa hat sich ein anderes Kollisionswarnsystem etabliert, das sogenannte FLARM (abgeleitet von Flight Alarm), welches von der FLARM Technology AG in Cham (ZG) entwickelt wurde. In der Schweiz sind nahezu sämtliche Segelflugzeuge damit ausgerüstet, ebenso die Helikopter der REGA. Es gibt kleine FLARM-Sender (FLARM-Transponder) speziell für Gleitschirm- und Drachenflugpiloten. Für Motorflugzeuge wurde eine modifizierte Geräteversion entwickelt, das PowerFLARM, welches zum Standard FLARM kompatibel ist, jedoch zusätzlich über passives *Automatic Dependent Surveillance Broadcast* (ADS-B-IN) verfügt, sodass auch Flugzeuge mit konventionellen Transpondern detektiert werden können. Bei FLARM handelt es sich wie bei ACAS um

ein «kooperatives System». Die FLARM-Geräte benachbarter Flugzeuge tauschen ihre Daten sekundlich aus, berechnen die Kollisionsgefahr und warnen bei gefährlicher Annäherung akustisch und über eine Anzeige im Cockpit. Im Gegensatz zu ACAS werden jedoch keine Ausweichmanöver berechnet. Es handelt sich bei FLARM damit um ein Kollisionswarnsystem und nicht um ein Kollisionschutzsystem. Damit es für unbemannte Luftfahrzeuge taugt, müsste es zu einem Kollisionsschutzsystem weiterentwickelt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass ein für den BVLOS-Drohnenflug brauchbares Kollisionsschutzsystem noch nicht existiert. Um Drohnen in den vorhandenen Flugverkehr zu integrieren, muss also ein neues Kollisionsschutzsystem entwickelt werden. Dabei ist sowohl ein kooperatives als auch ein nicht kooperatives System denkbar.

2.2.4 Entwicklung eines Verkehrsmanagementsystems für Drohnen

In der Zivilluftfahrt unterliegt der Flugverkehr klaren Regeln. Der Flugverkehr wird durch eine Flugverkehrsleitstelle überwacht und geführt. Ein derartiges System heisst in der Aviatik *Air Traffic Management* (ATM). Dieses System hat sich parallel zum Fortschritt der bemannten Luftfahrt entwickelt und in jedem Land hat es eine Organisation, die für das Air Traffic Management zuständig ist; in der Schweiz ist die Firma skyguide mit Sitz in Genf dafür verantwortlich. Zur Aufgabe des ATM gehören die Kommunikation, Navigation und Überwachung. Eine wichtige Rolle spielen die Fluglotsen, die den Verkehr leiten und somit für die Koordination verantwortlich sind; die Kommunikation erfolgt via Sprechfunkverkehr. Derzeit läuft in Europa das *Single European Sky ATM Research Programme* (SESAR), das die Harmonisierung und die Einführung einer effizienteren Flugführung in Europa zum Ziel hat.

Mit Drohnen treten neue Player in den Luftraum ein. Die Mehrzahl der heutigen und zukünftigen Anwendung befinden sich im unteren Luftraum (unter 150 Meter), wo der Flugverkehr gemäss Sichtflugregeln (VFR) abgewickelt wird. Bei einem starken Wachstum des Drohnenflugverkehrs muss dieser koordiniert werden, doch das ATM der bemannten Luftfahrt kann für Drohnen nicht angewendet wer-

den, denn Drohnen besitzen zurzeit keine Fähigkeit für *see and avoid*, in den gefragten Höhen ist eine umfassende Radarabdeckung beinahe möglich und allein die erwartete grosse Zahl von Drohnenbewegung stellt eine Schwierigkeit dar. Deshalb ist für den Betrieb von Drohnen ohne direkten Sichtkontakt nebst den oben genannten Technologien die Entwicklung eines *Unmanned Traffic Management Systems* von zentraler Bedeutung. Die Global UTM Association (www.utm.aero) mit Sitz in Lausanne ist eine Non-Profit-Organisation, die sich dem Thema eines *Unmanned Air Traffic Management Systems* (UTM) widmet. Namhafte Unternehmen der Drohnenindustrie, Air Navigation Services und sogar Luftfahrtbehörden sind Mitglied in dieser Organisation. Bei der möglichen Benennung eines solchen Verkehrsmanagementsystems für Drohnen existieren zurzeit zwei mögliche Begriffe. Während der Begriff «UTM» vor allem auf globaler und US-amerikanischer Ebene gebräuchlich ist, wird in Europa im Rahmen von SESAR meist der Begriff «U-Space» für die gleiche Idee eines Verkehrsmanagementsystems verwendet. Wir orientieren uns nachfolgend an der europäischen Begrifflichkeit.

So ein System muss wohl schrittweise aufgebaut werden, da hier neue Technologien und Verfahren eingesetzt werden. Der erste Schritt könnte die Einführung eines Drohnenkorridors im Luftraum unter 150 Meter sein. Danach könnte die Einführung kooperativer und nicht kooperativer Navigationssysteme in entsprechenden Flugzonen folgen. Ein dritter Schritt wäre dann die volle Integration der Drohnen ins heutige Luftfahrtsystem mit *Instrumented-Flight-Rules-Operations* (IFR). Abbildung 5 zeigt die dafür notwendigen Elemente in einer Übersicht: *Unmanned Aircraft Systeme*, die Registration, ein Lizenzwesen, die Flugunfalluntersuchung, eine Positionsbestimmung und Identifikation in Echtzeit, topografische Daten, Wetterdaten und die Luftfahrtbehörden und Flugsicherungen.

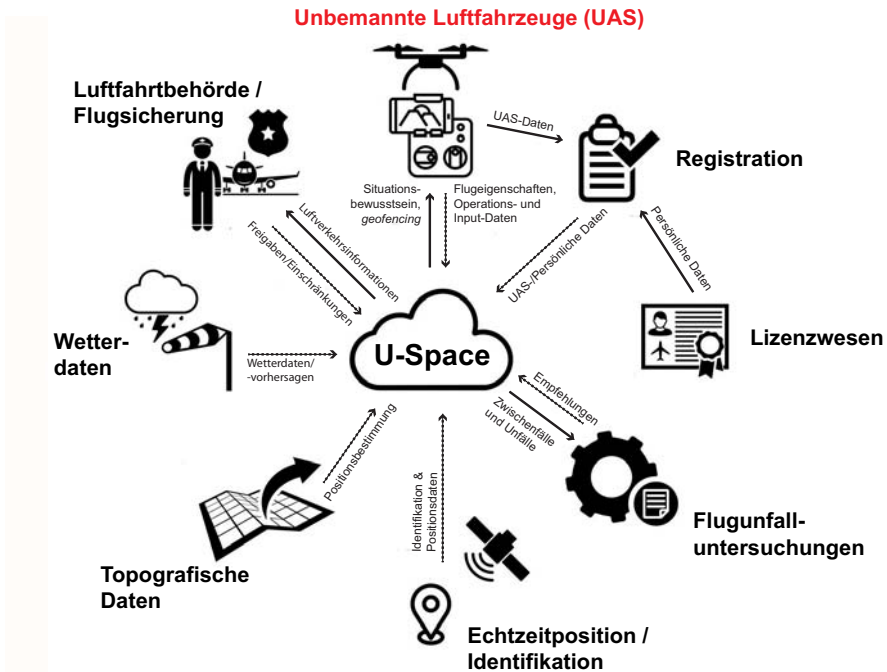


Abbildung 5: Elemente eines Verkehrsmanagementsystems für Drohnen (Quelle: ZHAW).

Damit ein U-Space funktionieren kann und für Behörden und Anwender eine effektive Lösung zur Integration von Drohnen in den übrigen Luftraum darstellt, ist ein entsprechender Informationsaustausch zwischen den entsprechenden Feldern nötig. In Bezug auf *Unbemannte Luftfahrzeuge (UAS)* und deren Betreiber ist es wichtig, entsprechend im U-Space die Flugeigenschaften und andere Operations- und Input-Daten zur Verfügung zu stellen. Im Gegenzug dient ein U-Space den Drohnenoperatoren zur sichereren Durchführung einer Mission durch die Bereitstellung eines umfassenderen Situationsbewusstseins, wobei auch Geofencing einen wichtigen technischen Limitierungsfaktor für Operationen darstellen kann. Durch ein spezifisch aufgestelltes *Lizenzwesen* für Personen und eine *Registration* für Drohnen wird sichergestellt, dass im U-Space entsprechende Informationen über Halter und Operateure falls nötig zur Verfügung stehen. Wichtig könnte dies beispielsweise in Bezug auf Untersuchungen bei Zwischenfällen oder *Flugunfalluntersuchungen* werden. Der U-Space könnte entsprechende Zwischenfälle

und Unfälle an eine Untersuchungsstelle melden, worauf diese als Reaktion entsprechende Empfehlungen zur Verbesserung des Systems oder der allgemeinen Sicherheit kommunizieren könnte. Eine *Positionsbestimmung und Identifikation in Echtzeit* der in einem Luftraum agierenden Drohnen und generelle *topografische Daten* als Input dienen einem U-Space zur Identifizierung von Luftfahrzeugen und deren Position in der realen Welt und hilft Operateuren bei der sicheren Durchführung ihrer Flüge und die Vermeidung von kritischen Annäherungen zwischen bemannter und unbemannter Luftfahrt, aber auch innerhalb der unbemannten Luftfahrt selbst. Ebenfalls in eine ähnliche Richtung zielt die Erfassung von *Wetterdaten* im U-Space. Mit entsprechenden Daten und Vorhersagen könnten Operateure genauere Flüge planen und Naturgefahren wie Gewitter oder Situationen mit Eisbildung zu vermeiden. Schliesslich kann eine *Luftfahrtbehörde* oder eine *Flugsicherung* aus dem U-Space wichtige Luftverkehrsinformationen jeglicher Art ableiten und auf dieser Basis entsprechende Freigaben erteilen oder Einschränkungen erlassen.

Ein Ansatz zur Einführung eines Überwachungssystems hat skyguide mit dem U-Space im September 2017 der Öffentlichkeit präsentiert (Chéhab 2017). Mit U-Space sollen Rahmenbedingungen erstellt werden, um routinemässige Drohnenoperationen mit der bemannten Luftfahrt, der Flugsicherung und den Behörden in Einklang zu bringen. Das System basiert auf dem Grundsatz, dass sich Drohnenbetreiber vor einem Flug über ein Smartphone registrieren, wodurch persönliche Daten und eine Telefonnummer hinterlegt werden. Der Drohnenoperator kann dann einen Flugplan zur Bewilligung vorlegen, worauf die Flugsicherung in Form von Änderungsvorschlägen reagieren kann. Bei der Durchführung des Fluges kann die Flugsicherung den Flug auch verfolgen. Im Falle einer drohenden Kollision mit einem anderen Flugzeug oder eines unerlaubten Flugweges ist es möglich, den Piloten zu kontaktieren und Anweisungen zu erteilen. Mit einem solchen U-Space-System unterstehen Drohnen der Flugsicherung, welche somit eine Koordinationsaufgabe erfüllen kann.¹⁹

¹⁹ Am 23. Oktober 2017 hat das Zentrum für Aviatik der ZHAW in Zusammenarbeit mit dem Drohnenverband SVZD das «1. Swiss UTM Forum» in Winterthur mit 78 Teilnehmenden organisiert. Die anschliessende Diskussion bestätigte, dass das Thema für die Entwicklung des sicheren Betriebs von Drohnen im Schweizer Luftraum zentral ist, damit das Drohnen-Business in der Schweiz an Fahrt gewinnen kann. Zudem kann durch die entsprechende Forschung die Technologieführerschaft der Schweiz im Bereich «autonome Drohnen» gefestigt und der Ruf der Schweiz als Innovationsstandort gestärkt werden.

Das Projekt selbst könnte ein Vorbild für die in Bearbeitung stehende gesetzliche Regulierung sein. Eine Einführung eines solchen Systems könnte in vier Stufen geschehen: Ein erster Schritt (U1) würde generell eine Registrierung, Identifikation von UAS und Geofencing beinhalten. Eine zweite Phase (U2) würde die Flugplanung, Bewilligungen, Flugverfolgungen und ähnliche erste Services umfassen. Mit fortschreitender Automation von Drohnenflügen kann in einem dritten Schritt (U3) der Wirkungsbereich von U-Space auf komplexere Operationen in dicht belegten Lufträumen und auch Konflikterkennung ausgeweitet werden. In einem letzten Schritt (U4), wenn Automation und die Vernetzung von Drohnen auf einem reifen Niveau sind, können Drohnenoperation Seite an Seite mit der bemannten Luftfahrt integriert werden. Bis 2019 wird erwartet, dass der erste Schritt (U1) operationellen Status erreicht hat und Phase zwei (U2) testweise vorgeführt werden kann (SESAR 2017).

Mit der Einführung eines Verkehrsmanagementsystems für Drohnen muss ein weiterer, zentraler Aspekt in Betracht gezogen werden: die Frequenznutzung der im Einsatz stehenden Drohnen. Im Gegensatz zur weltweit harmonisierten Frequenznutzung der bemannten Luftfahrt besteht in der Drohnenindustrie keine Harmonisierung der Frequenzen. Beispielsweise werden heute im Einsatz stehende Hobbydrohnen hauptsächlich auf dem WLAN-Frequenzband (2.4 und 5.8 GHz) betrieben. In Anbetracht des Wachstums der Industrie sollte die Allokation entsprechender Frequenzbänder für gewisse Anwendungsfelder im Drohnenbereich in Betracht gezogen werden. Entsprechende Anwendungsfelder beziehungsweise Anforderungen, die bei einer solchen Allokation von Frequenzressourcen in Betracht gezogen werden können und auch schon innerhalb des BAKOM thematisiert werden, sind im Folgenden aufgelistet:

- **Unmanned Traffic Management (UTM) / U-Space, unter 500 Fuss:** Dient der Sicherstellung einer ungefährdeten und effizienten Bewirtschaftung von Luftfahrzeugen während allen Phasen ihres Betriebes
- **Air Traffic Management (ATM) generell:** Das Flugverkehrsmanagement dient der Sicherstellung einer ungefährdeten und effizienten Bewirtschaftung von Luftfahrzeugen während allen Phasen ihres Betriebes.
- **Zuladungsspezifische Anwendungen:** Betrifft die Übertragung von Nutzdaten wie Audio-, Video- oder generellen Messdaten
- **Steuerungs- und Kommunikationssysteme**
- **Detect and avoid und Abwehr:** Erkennung von Drohnen und entsprechender Schutz von zivilen oder militärischen Einrichtungen

Über eine solche Allokation von spezifischen Frequenzressourcen muss ein internationaler Konsens gefunden werden, wobei sich das BAKOM bei entsprechenden Gremien und Organisationen einbringen kann (siehe dazu auch Abschnitt 3.3.1.4).

Im Zusammenhang mit der Entwicklung eines U-Space für den untersten Luftraum wird abgeklärt, ob es möglich ist, die existierende und in Zukunft verfügbare zelluläre Mobilfunkinfrastruktur (4G und 5G) zu Flugsicherungszwecken zu nutzen. Im Gegensatz zu den herkömmlich verwendeten amplitudenmodulierten Funksignalen wäre es mit Mobilfunkinfrastruktur möglich, nicht nur grössere und vor allem auch heute noch mit Radar unerreichbare Gebiete abzudecken, sondern auch im Bereich der Datensicherheit bei der Übertragung eine Verbesserung zu erzielen. Schon heute ist es im Mobilfunknetz möglich, ein Gerät unter Zuhilfenahme von GPS, einer Triangulation zwischen Mobilfunkstationen oder mithilfe von WLAN-Signalen zu orten – ein Potenzial, welches auch für die Ortung und Überwachung von in tiefen Höhen operierenden Drohnen genutzt werden kann. Zu diesem Thema wird zurzeit durch den in 2017 gegründeten Verein Aviation Research Center Switzerland (ARCS) eine Studie verfasst, welche zum Ziel hat, die Möglichkeiten und Grenzen der Nutzung der Mobilfunkinfrastruktur in der bemannten und unbemannten Luftfahrt zu beschreiben und nächste Schritte vorzuschlagen.

2.2.5 Fazit zur Luftraumintegration von Drohnen

Der Luftraum der Schweiz ist nach internationalen Standards eingeteilt. Ebenso sind die dort angewendeten Flugbetriebsverfahren international standardisiert. Die internationalen Standards sind auf die Bedürfnisse der bemannten Luftfahrt ausgerichtet und hierfür entsprechend optimiert. Sie basieren auf jahrzehntelanger Erfahrung und sorgen für das sehr hohe Sicherheitsniveau des Luftverkehrs.

Drohnen lassen sich in dieses Luftverkehrssystem nicht ohne Weiteres integrieren. Insbesondere das grundlegende Prinzip des «sehen und gesehen werden» setzt einen Piloten an Bord des Luftfahrzeugs voraus. Drohnen müssten mit einem sogenannten «Detect and avoid»-System ausgerüstet werden, welches das Prinzip «sehen und gesehen werden» technisch nachbilden kann. Das heisst, andere Luftverkehrsteilnehmer müssen mittels *detect and avoid* rechtzeitig erkannt werden und bei Bedarf muss die Drohne notwendige Ausweichmanöver automatisch ausführen. Diese technische Lösung muss eine Zuverlässigkeit und Betriebs-

sicherheit aufweisen, die das Sicherheitsniveau des «sehen und gesehen werden» erreicht oder besser ist. Ein solches «Detect and avoid»-System existiert heute noch nicht. Die Entwicklung eines solchen Systems und vor allem der Nachweis der Betriebssicherheit gegenüber der Luftfahrtbehörde werden einen erheblichen Aufwand bedeuten.

Für die Koordinierung der unbemannten Luftfahrzeuge ist zudem ein *Unmanned Air Traffic Management System* (U-Space) notwendig. Dazu muss eine technische Lösung entwickelt und dann die entsprechende Infrastruktur aufgebaut werden. Eventuell lässt sich das heutige 4GSM- oder das zukünftige 5GSM-Mobilfunknetz dafür nutzen. Aufseiten der Flugsicherung braucht es Investitionen, um das U-Space an das Air Traffic Management (ATM) der bemannten Luftfahrt anzubinden, sodass bemannter und unbemannter Luftverkehr im gleichen Luftraum koordiniert werden kann.

Aufgrund der fehlenden «Detect and avoid»-Fähigkeit beschränkt sich der Flugbetrieb von Drohnen heute auf Flüge, bei denen der Drohnenpilot jederzeit Blickkontakt zu seinem Fluggerät haben muss (VLOS). Im Kapitel 2.2.2.3 wurde gezeigt, dass der Aktionsradius der Drohne bei VLOS sehr begrenzt ist. Viele professionelle Anwendungen sind deshalb im VLOS-Betrieb nur sehr eingeschränkt oder gar nicht machbar.

2.3 Schlüsseltechnologien für Drohnen

2.3.1 Übersicht

Charakteristisch für die Drohnentechnologie ist das Zusammenspiel komplexer technologischer Komponenten. Innovationen in anderen Bereichen wie z.B. Miniaturisierung, Sensoren- oder Batterietechnologie haben massgebend dazu beigetragen, dass sich die Drohnentechnologie in den vergangenen zehn Jahren derart rasch entwickeln konnte. Neben den bereits besprochenen Kollisionsschutzsystemen dürften vor allem die folgenden Technologiefelder für die künftige Weiterentwicklung der Drohnen, insbesondere auch in Bezug auf den Einsatz von Drohnen ohne direkten Sichtkontakt (BVLOS), eine grosse Bedeutung haben:

- **Regelungs- und Autonomiefähigkeiten:** Auf dem Gebiet der Regeltechnik wird die Autonomiefähigkeit der Systeme erhöht werden müssen. Beispielsweise muss das System bei Ausfall des Datenlinks ohne externe Hilfe den Weg an die Basis finden oder sofort sicher landen können. Bei Versagen von mehreren Systemen oder bei starken Wettereinflüssen wie Wind, Regen und Schnee müssen entsprechende Notverfahren implementiert werden. Die grösste Herausforderung wird hier sein, Software zu entwickeln, die aufgrund der erfassten Daten autonom an Bord Entscheide fällen kann. Hier besteht noch ein grosser Forschungsbedarf; heutige Drohnen – vor allem jene unter 30 Kilogramm Gewicht – können nur bei optimalen Wetterbedingungen betrieben werden. Zudem muss die Zuverlässigkeit der Systeme verbessert werden, denn die Ausfallrate von Drohnensystemen (Absturz) in allen Kategorien ist relativ hoch. Die Verlustrate im militärischen Bereich ist weitgehend unbekannt.²⁰
- **Energieversorgung:** Die Weiterentwicklung von neuen Batterien sowie noch leichteren Materialien wird längere Einsätze ermöglichen, was zu interessanten neuen Anwendungen führen dürfte.
- **Detect and avoid:** Dies dürfte für die zukünftige Erschliessung von neuen Anwendungsbereichen für Drohnen eine Schlüsseltechnologie darstellen, dessen Entwicklung allerdings äusserst schwierig ausfallen dürfte.

Zu jedem dieser Punkte werden die wichtigsten technischen Herausforderungen und Entwicklungsmöglichkeiten kurz erläutert. Ein gesonderter Abschnitt über mögliche Entwicklungen entfällt hier.

2.3.2 Flugregelung, Automatisierung und künstliche Intelligenz

Die Frage der Flugregelung ist heute grundsätzlich gelöst. Es ist möglich, ein Flugzeug ohne ein menschliches Zutun zu stabilisieren, zu führen, zu navigieren und zu kontrollieren. Die Industrie besitzt über einen grossen Erfahrungsschatz, den sie sich über eine lange Entwicklungszeit angeeignet hat. Mit dem Aufkommen der

²⁰ Gemäss Aussage von Dr. Ravinder Chona (US Air Force, Wright Patterson Air Force Base, Director Structural Science Center) anlässlich der Konferenz «International Committee on Aeronautical Fatigue and Structural Integrity» (ICAF) vom 6. bis 10. Juni in Helsinki waren 50–70% der US-amerikanischen Militäroperationen mit Drohnen in den letzten fünf Jahren nicht erfolgreich; dies aus diversen Gründen: Planung, Probleme bezüglich Datenlink, Aerodynamik/Flugmechanik, Struktur, Wetter, Technik, *Human Factors*.

digitalen «Fly by wire»-Technologie in den 1970er-Jahren wurde diesbezüglich nicht nur ein grosser Sprung in der Funktionalität von Autopiloten möglich gemacht, sondern auch eine signifikante Verbesserung der Sicherheit erzielt. Entsprechende «Control Laws» verändern die Steuerung eines Flugzeugs je nach Flugsituation und unterstützen den Piloten umfassend bei der Ausübung seines Berufs. Die in den letzten Jahren stattgefundene Miniaturisierung und die mögliche günstige Herstellung von Sensoren und Prozessoren ermöglichten es, solche Flugregler auch im Modellbaubereich, in Multikopterdrohnen und anderen unbemannten Flugzeugen einzuführen und die Technologie des stabilisierten Fluges so allen Sparten der Luftfahrt zugänglich zu machen.

Die Automatisierung von Abläufen in der Luftfahrt ist bezüglich ihrer Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit eine Stufe höher angesiedelt als die vergleichsweise einfache Aufgabe der Flugregelung. Bei der Automatisierung von essenziellen Funktionen eines Luftfahrzeugs spielt die Anbindung von zuverlässigen Sensoren (die über die simple Erkennung von der Fluglage hinausgehen) und die imperativ korrekte Verarbeitung der gewonnenen Daten eine grosse Rolle, um einen autonomen Flug zu ermöglichen, wobei ein gewisser Sicherheitsstandard gewährleistet werden kann. Gerade in Bezug auf diesen Sicherheitsstandard besteht Verbesserungspotenzial. In den heute im Einsatz stehenden Drohnen, sei es bei zivilen Anwendungen oder teilweise auch militärischen, wird bei kritischen Systemen auf Redundanz noch verzichtet oder es werden Komponenten ohne ermittelte Ausfallwahrscheinlichkeiten oder definiertes Produktleben verwendet. Dies wäre allerdings wichtig, um ein Ausfallrisiko zu quantifizieren und so auf gewisse Sicherheitsziele hinarbeiten. Redundanz (doppelt oder sogar dreifache Ausführung von Systemen) ist insofern auch wichtig, dass im Fall einer Fehlfunktion eines einzelnen Systems das andere System eine Diskrepanz feststellen und dem Operator anzeigen kann oder (bei dreifacher Ausführung) das System eigenständig die fehlbare Information identifizieren und ignorieren kann. Eine solche Triplex-Redundanz (dreifache Systemausführung) wäre theoretisch nötig, um die Wahrscheinlichkeit eines katastrophalen Systemfehlers genug klein zu halten, sodass ein autonomer Betrieb von Drohnen als sicher bezeichnet werden kann. Allerdings wird heute beispielsweise bei vielen bemannten Helikoptern aus Komplexitätsgründen lediglich eine doppelte Systemausführung verwendet und die ultimative Entscheidung, welches System nun korrekte und welches fehlerhafte Daten liefert, dem Piloten überlassen. Vor diesem Hintergrund wird es in absehbarer Zukunft wohl noch nicht möglich sein, den Operateur aus dem System zu nehmen, da

sonst diese abschliessende, oft spontane und flexible Entscheidungsfindung nicht mehr stattfinden kann. Denkbar wäre allerdings, dass ein Operateur (analog zur Flugsicherung) mehrere Drohnen zur selben Zeit überwachen kann, um im Falle eines Bedarfs solcher Entscheidungen reagieren zu können. Auch in Bezug auf die Durchführung von Operationen ohne direkten Sichtkontakt zur Drohne (BVLOS) liegt vor allem hier in der Automatisierung noch Handlungspotenzial, denn für die heute diskutierten risikobasierten Ansätze sind die oben diskutierten Ansätze von technischer Sicherheit und der auch damit verbundenen gesellschaftlichen und regulatorischen Akzeptanz von Drohnenflügen von äusserst wichtiger Bedeutung.

Inwiefern in Zukunft eine künstliche Intelligenz solche spontanen Entscheidungen zur Lösungsfindung treffen kann, ist zurzeit noch nicht absehbar. Diverse Hochschulen und Start-ups arbeiten momentan an solchen Algorithmen. Der Ansatz dieser künstlichen Intelligenz basiert auf der Verarbeitung von riesigen Mengen von erhobenen Sensordaten jeglicher Art, die die Umwelt oder das Flugobjekt selbst betreffen, und das Ableiten von Alternativen und die Evaluation einer optimal passenden Lösungsmethode für ein spezifisches Problem. Allerdings stellt sich dabei auch die Frage, wie überhaupt überprüft werden kann, wie sicher ein solches System ist. Die heute gängige Praxis mit dem Erbringen eines quantitativen Sicherheitsnachweises kann einer Zukunft mit künstlicher Intelligenz vermutlich nicht mehr genügen. Grundsätzlich kann also davon ausgegangen werden, dass bis 2025 noch viele Aspekte, die eine solche künstliche Intelligenz mit sich bringt, noch nicht gelöst sein werden.

2.3.3 Energieversorgung

Bei der Energieversorgung von Drohnenflugantrieben existieren diverse Möglichkeiten. Der Grossteil der im Einsatz stehenden Drohnen ist auf Elektromotoren und somit auf Batterien angewiesen. Dies ist vor allem bei kleineren Drohnen mit begrenztem Aktionsradius der Fall. Allerdings existieren dabei auch Mischkonzepte, wie z.B. die Verwendung von elektrischen Antrieben für Starts und Landungen und ein Verbrennungsantrieb für den Reiseflug, wodurch sich die Reichweite enorm vergrössern lässt. Vermehrt werden auch Konzepte entwickelt, wo ein unbemanntes Luftfahrzeug zwar mit Elektroantrieben ausgerüstet ist, die Batterien

zur Stromversorgung allerdings durch ein an einen Generator angeflanschten Verbrennungsmotor unterstützt werden. Solche Entwicklungen sind hauptsächlich auf die Grenzen der momentan verfügbaren Batterietechnologie zurückzuführen.

Bei den Batterietechnologien hat eine starke Entwicklung bezüglich Energiedichte und der Kosten pro Kilowattstunde stattgefunden. Mit dem Auftauchen der Lithiumbatterien und der Einsatz dieser Batterietechnologie in Mobilfunkgeräten, Laptops und auch Autos hat sich dank intensiver Forschung die erzielbare Energiedichte zwischen 1995 und 2015 knapp verdreifacht und die Kosten sind (je nach Betrachtungsweise) bis um den Faktor zehn gesunken (Ketan 2017). In der Tat hat dieser Fortschritt in der Batterietechnologie massgeblich zur Entwicklung der heutigen Drohnen beigetragen.

Neben der Energiedichte und den Kosten pro Kilowattstunde sind auch die Ladedauer, die Anzahl möglicher Ladezyklen und die Sicherheit der Zellchemie von grossem Interesse (Warwick 2017a: 38). Dabei bestehen Unterschiede zwischen den heute am meisten verbreiteten Lithiumbatterien: während Lithium-Polymer-Akkumulatoren eine etwas höhere Energiedichte aufweisen, sind sie aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung heikler im Betrieb und können bei falscher Handhabung eher thermisch durchgehen als Lithium-Ionen-Batterien. Entsprechende Massnahmen wie die permanente Überwachung der Zellen mit einem Batteriemanagementsystem (BMS) sind bei professionellen Anwendungen nötig, was die Sicherheit der Anwendung dieser Technologien effektiv sicherstellt. Aufgrund ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer Bauart sind Lithium-Ionen-Zellen tendenziell sicherer als Lithium-Polymer-Zellen, weshalb diese Zellen auch den Weg in Elektroautos und Elektroflugzeuge gefunden haben. Ein wichtiger Player im Bereich der Batterien ist Tesla, wo neue Technologien und Kostensteigerungen gezielt gefördert werden. Die Lebensdauer einer Lithiumzelle beträgt heute idealerweise bis zu 500 Ladezyklen, wobei Uber im Zusammenhang mit einem Personentransportprojekt mit elektrischen VTOL-Drohnen bis 2028 ein Ziel von 1000 Ladezyklen und bis 2032 2000 Zyklen gesetzt hat. Der Preis von Lithiumbatterien wird auch in Zukunft noch weiter fallen. Während heute Tesla bei Kosten von 200 US-Dollar pro Kilowattstunde angelangt ist, erwartet General Motors, dass die Kosten bis 2022 noch auf 100 US-Dollar fallen werden (Lubbadeh 2016).

Die Energiedichte ist bezüglich möglicher Anwendungen der treibende Faktor: davon hängt die maximal mögliche Flugdauer oder auch die maximal transportierbare Zuladung (z.B. Paketgrösse) ab. Drohnen bis zu 2 Kilogramm Gewicht können (je nach Drohne und Zuladung) Flugzeiten von lediglich 15 Minuten erreichen. Für VLOS-Operationen mag dies durchaus ausreichend sein, allerdings ist dies für BVLOS-Flüge und autonome Einsätze, wie z.B. zur Vermessung oder das Zustellwesen nötig werden, noch nicht zufriedenstellend. Allerdings findet im Bereich der Batterietechnologien eine stetige Entwicklung statt. Die in Teslas Elektroautos verwendeten Lithium-Ionen-Akkumulatoren setzen heute wohl den Massstab für industriell verwendbare Batterien. Tesla baut Batteriezellen mit spezifischen Energiedichten von 250 Wh/kg, eine neue Zellengeneration soll die Energiedichte auf 300 Wh/kg heben. Jährlich soll die Leistung der Zellen einen Fortschritt von ungefähr 5% aufweisen (Warwick 2017a). Ausserdem wird in diversen Forschungslabors an neuen Batteriezusammensetzungen, z.B. an Lithium-Schwefel- und anderen Lithium-Metall-Zusammensetzungen, geforscht, welche allerdings bis 2025 noch nicht Marktreife erreicht haben werden. Gemäss Schätzungen (Bauhaus Luftfahrt 2012) sollte es mit Lithiumbatterien möglich sein, Energiedichten langfristig auf 350–500 Wh/kg anzuheben, was eine aktuellere Einschätzung durch SolidEnergy (Warwick 2017a) nochmals unterstreicht. Dies entspräche einer Verdoppelung des aktuellen Stands der Technik, welche bestenfalls bis 2025 den Nutzern von Drohnen zur Verfügung stehen könnte.

Der autonome, elektrische Personentransport wird vermutlich auf weitere Entwicklungen in der Batterietechnologie angewiesen sein. Uber rechnet 2023 mit Energiedichten von 350 Wh/kg, Boeing sogar mit 400 Wh/kg, als kritische Untergrenze, womit der Personentransport in Form von autonom fliegenden Taxis ermöglicht werden sollte (Warwick 2017a). In der Übergangszeit könnte mit Hybridantrieben, also elektrisch angetriebene Motoren mit einem Verbrennungsmotor als Generator an Bord, die zur Verfügung stehende Energie liefern und diese Anwendung einführen.

2.3.4 *Detect and avoid* im Zusammenhang mit BVLOS

Entwicklungen im Bereich der Flugregelung und Automatisierung einer Operation und der Batterietechnologie ermöglichen Einsätze mit Drohnen, die über die übliche Distanz, über die eine Drohne noch auf Sicht durch einen Operator präzise

gesteuert werden kann, hinausgehen. Dabei wäre es für die zukünftige Entwicklung der Drohnentechnologie äusserst wichtig, den Aktionsradius auszudehnen, um die Technologie in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit mancher Anwendungsgebiete attraktiv zu machen. Auf diesen Aspekt wird in Abschnitt 2.5 näher eingegangen. Allerdings gilt es, dafür einige technische Herausforderungen zu meistern. Wie in Abschnitt 2.2.2.4 erwähnt, stellt der Einsatz von Drohnen bei Flügen ohne direkten Sichtkontakt neue Anforderungen an die Drohne sowie auch an den Drohnenpiloten selbst. Der Mensch als letzte Entscheidungsinstanz, der Hindernisse erkennen und umgehen kann, fällt dabei im herkömmlichen Sinne weg. Um sichere BVLOS-Flüge neben gewöhnlichen bemannten Flügen im existierenden Luftraum zulassen zu können, müssen Lösungen, wie Drohnen zuverlässig Hindernisse oder andere Luftraumteilnehmer erkennen und Kollisionen verhindern können, in Form eines «Detect and avoid»-Systems erarbeitet werden. Die Vielfalt der Luftraumnutzer, was durch die Geografie der Schweiz mit ihren spezifischen Luftraumnutzern im Gebirge noch verkompliziert wird, macht es schwierig, eine auch international einheitliche Lösung zu ermitteln. Während in der Industrie momentan fieberhaft an einer Lösung dieser Probleme geforscht wird, ist noch nicht absehbar, wie genau der Funktionsumfang einer solchen Technologie aussehen muss (Unkooperativ oder reicht ein kooperatives System? Was konstituiert ein erfolgreiches «Avoid»-Manöver: muss ein entsprechender Sicherheitsabstand gewährleistet werden oder einfach eine Kollision vermieden werden? ...), was für Sensortypen verwendet werden sollten, wie überhaupt die Anforderungen an ein solches System aussehen müssen und wann eine solche Lösung marktreif und auch von den Luftfahrtbehörden zugelassen wird. In der Schweiz wird beispielsweise auf der öffentlichen Seite durch die armasuisse W+T (Wick 2013) und auf der privaten Seite unter anderem durch FLARM (FLARM 2017) an diesem Problem gearbeitet. Ebenfalls hat das im September 2017 in Genf vorgestellte U-Space-System das Potenzial, diese Funktion als «externes» «Detect and avoid»-System zu übernehmen. In den USA forscht die NASA an entsprechenden Lösungen (Merlin 2015). Eine Lösung, die alle Seiten zufriedenstellt, wurde bisher noch nicht gefunden. In diesem Sinne kann festgehalten werden, dass beim momentan bestehenden Mangel an generell akzeptierten, systemischen Lösungen bezüglich *detect and avoid* ein Hindernis bei der zukünftigen Entwicklung der Drohnentechnologie besteht, das in Hinblick auf die zukünftige wirtschaftliche Nutzung und andere denkbare Geschäftsfelder unbedingt behoben werden muss.

2.3.5 Fazit

Nach den obigen Abschnitten kann gesagt werden, dass es diverse Technologien gibt, welche für die zukünftige Entwicklung der Drohnentechnologie eine Schlüsselrolle spielen und diese insofern diktieren. So muss insbesondere bei der Automatisierung von Abläufen, vor allem in Zusammenhang mit ihrer Zuverlässigkeit und technischen Sicherheit, noch ein Schritt vorwärts gemacht werden. Die Batterietechnologie wird zukünftig insofern eine Rolle spielen, dass die bestenfalls zu erwartende Verdoppelung der Energiedichte genügend gut ist, Lufttaxis oder spezifische Lufttransporte von hochwertigen oder zeitkritischen Gütern zu ermöglichen. Ein grosses Fragezeichen muss bei «Detect and Avoid»-Technologien gesetzt werden, denn dafür sind viele Voraussetzungen und Standards auch international noch nicht ausgearbeitet worden, was ein baldiges Auftreten von Lösungen noch verhindert.

Zum Zweck der Erarbeitung dieser Technologien oder aber auch nur zur Erfassung der technischen Zuverlässigkeit von Drohnen werden hauptsächlich Versuche durchgeführt, die entweder unter Laborbedingungen, im späteren Einsatz selbst oder gar nicht durchgeführt werden können. Wie sich diese Technologien allerdings in der realen Welt (d.h. bei verschiedenen Wetterbedingungen, zusammen mit anderen Luftraumteilnehmern, Funkstörungen, Infrastrukturen, unter Einfluss von Human Factors) und in Verbund mit existierenden Systemen verhalten werden, ist mit den heutigen Rahmenbedingungen sehr schwierig abzuschätzen oder zu testen. Aus diesem Grund wäre es anzudenken, einen kontrollierten und sicheren Rahmen zu schaffen, möglicherweise in Form eines designierten Drohnentestbereichs oder -zentrums, worin solche Technologien fundiert und kontrolliert auf ihre Verträglichkeit mit dem Einsatz in der realen Welt untersucht werden könnten. Dies wäre insofern auch vorteilhaft, die Entwicklung nicht ihrem Zufall zu überlassen, sondern die Kontrolle über entsprechende Entwicklungen zu haben und gegebenenfalls Leitplanken zu setzen oder entfernen zu können.

2.4 Einsatzformen und Anwendungsbereiche von Drohnen

2.4.1 Übersicht

Neue Technologien bergen oft das Versprechen einer Vielzahl von Einsatzmöglichkeiten. Dies ist auch bei Drohnen nicht anders; ursprünglich primär militärisch genutzt, entwickelten sich in den letzten Jahren immer wieder neue zivile Anwendungsmöglichkeiten, beispielsweise die Paketzustellung, Suchmissionen im Katastrophenfall oder das Verteilen von Schädlingsbekämpfungsmitteln in der Landwirtschaft. Aufgrund der Charakteristika von Drohnen kann man grundsätzlich zwei Einsatzformen unterscheiden, die sich jeweils in verschiedene Unterkategorien ordnen lassen:

- **Drohnen als Sensorsysteme:** Diese Anwendungsform nutzt Drohnen als bewegliche Sensorplattformen, um sonst schwierig zugängliche Informationen zu erhalten, die in der Regel in Echtzeit an eine Bodenstation übermittelt werden. Hier können die folgenden vier Anwendungen unterschieden werden:
 - **Überwachung von Personen/Tieren:** Im Fokus stehen hier Personen oder Tiere, die sich in bestimmten Kontexten frei bewegen können. Man nutzt dabei insbesondere die Fähigkeiten der Drohnen, bewegliche Ziele gegebenenfalls verfolgen zu können. In sehr speziellen Fällen kann das Auftauchen der Drohne selbst zur gewünschten Wirkung führen, z.B. um Jungtiere zu schrecken, damit diese sich vor dem Mähen eines Feldes in Sicherheit bringen können.
 - **Überwachung von Anlagen:** Im Fokus stehen hier Gebäude, Flugzeuge oder dergleichen, die bezüglich bestimmter Aspekte inspiziert werden müssen. Man nutzt dabei insbesondere die Fähigkeit der Drohnen, vergleichsweise nahe an sonst schwer zugängliche Teile der Anlagen gelangen zu können.
 - **Überwachung von Infrastrukturen:** Im Fokus stehen hier netzwerkartige Strukturen wie z.B. das Stromnetz oder Verkehrsträger (Schiene, Strasse). Man nutzt dabei insbesondere die Mobilität der Drohnen, um die Infrastruktur über längere Strecken hinweg kontrollieren zu können.

- **Mapping:** Im Fokus stehen hier Natur- oder Kulturlandschaften, über die Bild- oder sonstige Informationen gesammelt werden. Man nutzt dabei insbesondere die Fähigkeit der Drohnen, das gewünschte Areal mit den für die jeweilige Fragestellung angepassten Sensoren flächendeckend erfassen zu können.
- **Drohnen als Transportsysteme:** Diese Anwendungsform nutzt die Transportkapazität von Drohnen, um unterschiedlichste Dinge von einem Ort zum anderen zu bringen, wobei kein Pilot mitgeführt werden muss. Hier können die folgenden vier Anwendungen unterschieden werden:
 - **Transport von Wirkmitteln:** Im Fokus stehen hier Substanzen, welche an einen bestimmten Ort gebracht werden, um dort eine Wirkung zu erzielen. Man nutzt hier insbesondere die Eigenschaft der Drohnen, ansonsten schwer zugängliche Regionen effizient erreichen zu können.
 - **Transport von Gegenständen:** Im Fokus stehen hier Gegenstände, die von A nach B gebracht werden sollen, d.h., es wird eine logistische Aufgabe gelöst. Man nutzt hier insbesondere die Schnelligkeit der Drohnen, da durch den Luftweg viel Zeit eingespart werden kann.
 - **Transport von Menschen:** Im Fokus steht hier der Transport von Menschen von A nach B durch die Luft mittels Systemen, die selbst keinen Piloten mehr mitführen. Schnelligkeit und Effizienz stehen auch hier im Mittelpunkt.
 - **«Transport» von Information:** In diesem Spezialfall werden Drohnen als Relaisstationen zur Übermittlung von Information von A nach B genutzt; beispielsweise in sehr abgelegenen Regionen oder im Katastrophenfall, wenn die herkömmlichen Kommunikationsnetze zusammengebrochen sind.²¹

²¹ Derzeit noch Zukunftsmusik ist die Nutzung von HALE-Drohnen (High Altitude Long Endurance) oder HAPS-Systeme (High Altitude Pseudo Satellite) für Überwachungsaufgaben oder als Relaisstationen zur Kommunikation. Bei HALE-Drohnen und HAPS-Systemen handelt es sich um sehr grosse, komplexe Systeme, deren Entwicklung und Betrieb sehr teuer ist und kaum durch Start-ups oder kleine Betriebe, sondern eher durch die NASA oder ähnliche Institutionen durchgeführt werden kann.

Bei all diesen Anwendungen ist zu beachten, dass die Drohne meist nur Teil eines grösseren Systems ist, das die gewünschte Dienstleistung erbringt. Werden Drohnen als Sensorsysteme genutzt, geschieht die Auswertung der gesammelten Information durch ausgefeilte Algorithmen unter Einbezug von Experten. Werden Drohnen als Transportsysteme genutzt, sind diese in der Regel nur Teil einer ganzen Logistikkette.

Nicht enthalten in dieser Aufzählung ist die Nutzung von Drohnen für Freizeit, Kunst und Sport, ohne dass damit mittels Sensoren gezielt Informationen gesammelt oder Transportdienstleistungen erbracht werden. Hier steht das Flugerlebnis selbst im Mittelpunkt – sei dies im Rahmen eines Hobbys analog zur Modellfliegerei, die Nutzung von Drohnen für künstlerische Aktionen oder Drohnenrennen. Kunst und Sport können durchaus kommerziellen Charakter haben; so könnten beleuchtete Drohnen analog zu einem Feuerwerk zur Unterhaltungszwecken eingesetzt werden oder in professionellen Drohnenrennen vor zahlenden Zuschauern können Preise, Sponsoring etc. eine Rolle spielen. Ebenfalls nicht enthalten in dieser Aufzählung sind Drohnen, welche anstelle eines Drachens zur «Ernte» von Windenergie genutzt werden (siehe Firmen «Twingtec» und «Skypull»), da diese einerseits angeleint und nicht als Drohnen im eigentlichen Sinn bezeichnet werden können. Nachfolgend werden diese Anwendungsbereiche nicht weiter untersucht, da sie für die kommerzielle Nutzung der Drohnentechnologie von untergeordneter Bedeutung sind.

Gewissermassen quer zu dieser Kategorisierung von Einsatzformen steht die Nutzung von Drohnen in unterschiedlichen Anwendungsbereichen. In den letzten Jahren sind hier die folgenden Bereiche genannt worden:

- **Bau und Unterhalt:** Hier werden Drohnen für die Fortschrittskontrolle beim Bau sowie für den Unterhalt von Gebäuden eingesetzt.
- **Behördlicher Einsatz:** Dies betrifft den Einsatz von Drohnen für Schutz und Rettung (z.B. Suche von Vermissten) oder für polizeiliche Überwachung (z.B. bei Demonstrationen). Denkbar ist auch die Nutzung für den Transport von Wirkmitteln (z.B. Wasser bei Löscheinsätzen, Lawinensprengung).
- **Forschung:** Hier werden vor allem die Sensorkapazitäten von Drohnen genutzt; denkbar ist aber auch die Nutzung der Transportkapazität (z.B. um Bodenproben aus entlegenen Regionen in ein Labor zu bringen).

- **Humanitäre Operationen:** Hier werden Drohnen in humanitären Notlagen eingesetzt, um Informationen zu sammeln oder als Ersatz für zusammengebrochene Kommunikations- oder Logistiknetze.
- **Industrie-Logistik:** Grosse Industrieanlagen haben eine bedeutende interne Logistik, die teilweise von Drohnen übernommen werden kann (Transport von Bauteilen, Proben etc.).
- **Landwirtschaft:** In diesem Bereich steht sowohl die Nutzung der Sensor- als auch der Transportkapazität von Drohnen im Fokus.
- **Medien und Unterhaltung:** Hier geht es vor allem um die Nutzung von Drohnen für Fotografien und Filmaufnahmen (Journalismus, Filmwesen etc.).
- **Natur- und Wildtier-Monitoring:** Auch hier stehen die Sensorkapazitäten von Drohnen im Vordergrund.
- **Personentransportwesen:** Drohnen werden für den Transport von Personen genutzt (z.B. als Ersatz für Helikopterflüge).
- **Vermessungs-/Kontrollwesen:** Dies betrifft die Nutzung von Drohnen für Landvermessungen, Kartenerstellung und dergleichen, aber auch deren Einsatz für die Kontrolle von Infrastrukturen wie Stromleitungen und dergleichen.
- **Versicherungswesen:** Drohnen können hier insbesondere eine Rolle bei der Schadensaufnahme spielen.
- **Zustellungswesen:** Dies betrifft vorab den Gütertransport durch Unternehmen wie die Post oder Amazon.

Diese grosse Zahl der heute diskutierten Anwendungsbereiche soll aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass viele Ideen heute noch in einem frühen Stadium sind und keineswegs klar ist, ob sich diese gegenüber den herkömmlichen Lösungen durchsetzen können. Grundsätzlich gilt es abzuschätzen, inwiefern sich das Risiko eines Einsatzes einer Drohne im Vergleich zu herkömmlichen Methoden erhöht oder verringert. Eine ähnliche Abschätzung muss in Bezug auf die Wirtschaftlichkeit getätigt werden. Rechnet sich der Einsatz einer Drohne im Vergleich zu ihren Alternativen? Überwiegt der erzielbare Mehrwert den Aufwand? Ob der Einsatz von Drohnen in einem spezifischen Anwendungsbereich regulatorisch möglich ist, ist selbstverständlich ebenfalls zu prüfen (die regulatorische Seite der Thematik wird in Kapitel 3 beleuchtet).

Anhand dieser Kriterien werden nun ausgewählte Anwendungsbereiche von Drohnen einer Beurteilung unterzogen. Die Nutzung von Drohnen für illegale Zwecke werden in einem eigenen Abschnitt diskutiert.

2.4.2 Detaillierte Diskussion von ausgewählten Anwendungsfeldern

2.4.2.1 Bau und Unterhalt

Überall dort, wo eine Kombination von Bildverarbeitungstechnologien und Bildaufnahme mit Drohnen eingesetzt werden kann, bestehen wirtschaftliche Potenziale. Dies trifft unter anderem bei Bauten zu. Schon in der Planungsphase können mit Drohnen und der heute verfügbaren Fotogrammetrietechnologie²² exakte Geländemodelle erstellt werden. In einem nächsten Schritt, wie dies beispielsweise schon in China umgesetzt wird, kann über Nacht der Baufortschritt mit Drohnen aufgezeichnet werden, um feststellen zu können, wo Defizite oder Fehler vorhanden sind, indem die Daten mit dem digitalen 3D-Modell abgeglichen werden. Am nächsten Tag können die entsprechenden Korrekturen vorgenommen werden. Im Anschluss an die Fertigstellung des Bauobjekts können mithilfe von Drohnen attraktive Bilder und Videos aufgezeichnet werden und das Resultat kann effektiv vermarktet werden. Mithilfe einer Drohne und der entsprechenden Kamera können heute in kurzer Zeit bis zu 100 Gigabyte Daten aufgezeichnet werden. Die Herausforderung hierbei liegt in der Bewältigung solcher Datenmengen in einer effizienten und wirtschaftlichen Art und Weise, was von Anwendungsfall zu Anwendungsfall im Rahmen eines Business Case beleuchtet werden muss.

Grosses Potenzial weist die Drohnentechnologie auch bei Unterhaltsaufgaben an stationärer Infrastruktur wie Gebäude, Windkraftanlagen und anderen schwer zugänglichen Objekten auf. Durch die Möglichkeit, eine weite Palette an Sensoren nahe an eine Oberfläche heranzuführen und diese flexibel erfassen zu können, wird zukünftig die Inspektion und den Unterhalt von Infrastruktur nicht nur zeitlich verkürzen, sondern auch kostengünstiger werden lassen. Beispielhaft dürfte hierfür die notwendige regelmässige Inspektion von Offshore-Windkraftanlagen sein. Dabei übernehmen mittlerweile Drohnen die Kontrolle der Aussenhaut auf Risse im Rostschutzanstrich oder nachlassende Schweissnähte, wozu früher Kletterer von

²² Fotogrammetrie ist eine Methode in der Fernerkundung, bei welcher aus Fotografien und deren Metadaten (meist geografische Information) ein räumliches Modell erstellt werden kann.

den Anlagen abgeseilt werden mussten (Bahlo 2017). Anstelle eines ganzen Tages kann die Dauer für diese Arbeit auf zwei Stunden limitiert werden. Es kann erwartet werden, dass die Risikobilanz durch den Einsatz einer Drohne für Arbeiten solcher Art positiv ausfällt (der Einsatz einer Drohne für die Inspektion eines Kühlturms eines Nuklearkraftwerks dürfte für Beteiligte sicherer sein als der gezielte Einsatz von Kletterern).

Situation heute: Während es durchaus Anbieter für die oben genannten Möglichkeiten im Bau- und Unterhaltswesen gäbe,²³ hält sich der Einsatz von Drohnen dazu noch in Grenzen. Lediglich zur Vermarktung von Bauobjekten werden heute schon oft Drohnen für die Luftbildaufnahme verwendet. Schon mit den heute geltenden regulatorischen Rahmenbedingungen und der heute verfügbaren Energiespeicher- und Sensortechnologie wäre ein effektiver Einsatz von Drohnen in diesem Geschäftsfeld sinnvoll. Durch die grundsätzlich liberale Gesetzgebung in der Schweiz ist die Dunkelziffer von Bauunternehmern, welche von Zeit zu Zeit auf ihrer Baustelle eine Hobbydrohne für Luftbildaufnahmen einsetzen, nicht zu missachten. Wofür diese Aufnahmen schliesslich verwendet werden, ist unbekannt; sie dürften aber lediglich zu Informationszwecken dienen.

Situation 2025: Drohnen werden ein wichtiges Instrument von Baufirmen sein, die nicht nur in der Planung von Bauaktivitäten, sondern auch deren Überwachung und deren anschliessende Vermarktung unterstützen dürften. Bis 2025 könnten sich wenige professionelle Anbieter für solche Services herauskristallisieren, welche mit geeigneten Drohnen für eine Vielzahl von Einsatzszenarien ein geeignetes Produkt anbieten und dem Post-Processing der gewonnenen Daten effektiv umgehen können. Voraussetzung dafür ist eine weiterführende Regulierung im Vergleich zu heute, das Standardisieren von Abläufen und das Erstellen von Best Practices. Auch der Einsatz von Drohnen zur Zustandserfassung und Inspektion von schwer zugänglicher Infrastruktur könnte international zum Standard werden und herkömmliche Methoden, wie das Abseilen von Kletterern oder der Einsatz von bemannten Helikoptern, weitgehend verdrängen. Da solche Einsätze auch vorwiegend in unmittelbarer Nähe zum Drohnenoperator ausgeführt werden können, sind solche Anwendungen tendenziell resistent bezüglich der Entwicklung von BVLOS-Regulationen, was das Etablieren dieses Einsatzzwecks kaum einschränken dürfte.

²³ Siehe dazu auch: Geodata Glarus AG: Anwendungsgebiet Drohne. URL: <https://www.geogol.ch/drohne/anwendungsgebiet-drohne> [Stand: 12.09.2017].

2.4.2.2 Behördlicher Einsatz

Die Behörden haben grosses Interesse daran, über eine Situation stets einen umfassenden Überblick zu haben, um entsprechende Massnahmen effektiv planen und durchführen zu können. Dazu dürften die beteiligten Parteien, darunter fallen z.B. Polizei, Ambulanz und Feuerwehr, die ganze Bandbreite der Sensorkapazitäten von Drohnen nutzen wollen. Dies erlaubt z.B. die Durchführung von Personenüberwachung, die Überwachung des Personenflusses bei Grossanlässen, die Überwachung der Landesgrenze (durch das Schweizer Grenzwachtkorps), die Suche von Personen, die Bestandsaufnahme nach Unfallereignissen, die Ermittlung von Schadstoffen in der Luft nach Chemie- oder Nuklearvorfällen und weitere denkbare Einsätze, die der Gewinnung eines Überblicks dienlich sind. Auch das Ausbringen von Wirkmitteln, z.B. zur Sprengung von Lawinen in den Bergen, ein Einsatz einer Drohne als Löschflugzeug bei der Brandbekämpfung oder auch ein Einsatz zur Immobilisierung von Personen bei Polizeieinsätzen wäre denkbar. Polizei, Grenzschutz, Zollbehörde oder private Sicherheitsdienste dürften zudem mit dem Problem des Abfangens illegaler Drohnen konfrontiert sein, was gegebenenfalls ebenfalls die Nutzung von Drohnen nötig macht (siehe dazu Abschnitt 2.4.3).

Die Nutzung der Sensorkapazitäten von Drohnen dürfte in den meisten Fällen eine positive Risikobilanz ergeben (z.B. dürfte es sicherer sein, das Ausmass eines Grossbrandes mit einer Drohne zu erfassen anstatt mit einem Helikopter). Eine Ausnahme dürfte die Nutzung von Drohnen bei Grossanlässen sein, zumal diese normalerweise verboten sind, wobei Behörden Ausnahmegewilligungen beantragen können. Im Fall der Ausbringung von Wirkmitteln dürfte die Risikobilanz ebenfalls positiv sein (z.B. Lawinensprengung). Eine Ausnahme bildet auch hier der Einsatz von Wirkmitteln gegen Menschen. Dies dürfte auf absehbarer Zeit noch zu risikoreich sein (zu geringe Situation Awareness).

Situation heute: Zurzeit nutzen diverse Institutionen wie Polizeidienststellen, Feuerwehren oder andere lokale, kantonale oder Bundesbehörden ein paar wenige Drohnen, die für Luftbildaufnahmen bei Verkehrsunfällen oder Naturkatastrophen, bei der Suche von Vermissten oder auch zum generellen Beschaffen eines Überblicks bei Notfällen oder Demonstrationen eingesetzt werden. Das Schweizer Grenzwachtkorps setzt zur Überwachung der Landesgrenzen das Drohnensystem ADS-95 ein beziehungsweise es kauft diesen Service bei der Armee ein.

Situation 2025: Es ist abzusehen, dass Drohnen für die Suche von vermissten Personen, Schadenserfassung, Katastrophenmanagement und weitere denkbare Einsatzmöglichkeiten bei immer mehr Polizei- und anderen Behörden in existierende Arbeitsabläufe integriert werden, denn durch Drohneneinsätze lassen sich effizientere Suchaktionen durchführen, die zum Teil auch wetterunabhängig und vor allem autonom stattfinden könnten. Ob Drohnen bis 2025 die momentan eingesetzten Polizeihelikopter schon vollständig ersetzen können, ist fraglich, doch werden Drohnen wichtige Teilaufgaben, wie die Überwachung von Menschenansammlungen und Demonstrationen aus der Luft, übernehmen können. Schritt halten muss die Entwicklung von adäquaten Drohnenabwehrmitteln, um die illegale Verwendung der Technologie zu verhindern (siehe Abschnitt 2.4.3). In Bezug auf den Grenzschutz könnte es sein, dass sich bis 2025 Firmen hervortun, welche für diese Aufgabe eine entsprechende Ausrüstung und die Expertise besitzen. Damit könnten diese einen effizienten Service anbieten, der in Konkurrenz zur bisherigen Situation des Einkaufs solcher Leistungen des Grenzwachtkorps bei der Armee stehen wird.

2.4.2.3 Humanitäre Operationen

Vor allem vor dem Hintergrund der Gewinnung eines Überblicks sind auch Einsätze von Drohnen zu humanitären Zwecken denkbar, wo eine Drohne ein wertvolles Werkzeug in der Katastrophenbewältigung und der eventuellen Schadenserfassung darstellen kann. Mit diesem Ziel im Hintergrund sind sowohl verschiedenste Sensorkapazitäten an vielen erdenklichen Drohnentypen zur Erstellung von Luftbildaufnahmen oder Suchaktionen gefragt. Die Vermessung und Erstellung von Karten ist das am meisten verbreitete Anwendungsfeld in Zusammenhang mit humanitären Einsätzen wie die FSD, eine Schweizer Organisation, welche in verschiedenen Ländern nach Katastrophen humanitäre Einsätze mit Drohnen durchgeführt hat, festhält (FSD 2017: 7). Ebenso können in Katastrophensituationen eventuelle Transportkapazitäten von Drohnen einen wertvollen Dienst erweisen, sei dies für die temporäre Versorgung von Krisengebieten mit Medikamenten und anderen Hilfsgütern²⁴ oder für den Aufbau eines Kommunikationsnetzes mittels fliegender Relaisstationen.

²⁴ Siehe dazu auch www.flyzipline.com; Bluttransport in abgelegene Gebiete in Ruanda für Transfusionen.

Die Erschliessung von Einsatzbereichen der oben genannten Arten dürfte kaum an wirtschaftlichen Überlegungen scheitern, denn der Mehrwert ihrer Durchführung übersteigt wohl ihren wirtschaftlichen Aufwand. Vor allem in Situationen, wo kleine Gebiete wiederholt aus der Luft vermessen werden müssen, fällt ein wirtschaftlicher Vergleich mit bemannten Flugzeugen deutlich positiv aus. Die Nutzung der Sensorkapazitäten von Drohnen zu humanitären Zwecken, was generell eine Notsituation darstellt, dürfte in den meisten Fällen eine positive Risikobilanz ergeben (z.B. dürfte es sicherer sein, das Ausmass eines Bergsturzes mit einer Drohne zu erfassen anstatt mit einem Helikopter oder mit einer Begehung zu Fuss).

Situation heute: Im Bereich des Disaster Managements ist die Situation derzeit noch unübersichtlich, es fehlt eine zentrale Koordination. In Anschluss an Naturereignissen kam es zum Beispiel in Amerika zu Fällen, wo Noteinsätze durch Hilfskräfte aufgrund unautorisierter Drohneneinsätze unterbrochen werden mussten (Suasnews 2017). Es existieren allerdings diverse Projekte, um eine solche Koordination zu vereinfachen (siehe dazu die generelle Diskussion zu UTM/U-Space, www.airmap.com etc.). Im Bereich der Versorgung mit Hilfsgütern wäre hier Flyzipline zu nennen.

Situation 2025: Bis 2025 kann davon ausgegangen werden, dass das Problem der Koordination von Drohneneinsätzen zu humanitären Zwecken adressiert worden ist, wenn auch nicht zwingend in der Schweiz. Die Situation nach Hurrikan Irma im September 2017 in Florida (USA) führte dazu, dass die FAA begann, wichtige Infrastruktur wie Trinkwasserreservoirs durch (halb-)private Drohneneinsätze überprüfen zu lassen. Dies könnte einen ersten Schritt in ein künftig besser organisiertes Disaster Management unter Zuhilfenahme von Drohnen darstellen.

2.4.2.4 Nutzung von Drohnen zu Forschungszwecken

In der Schweiz wird viel Forschung im Bereich der Drohnenentwicklung betrieben. Aber auch zu Forschungszwecken wird der Einsatz von Drohnentechnologie immer attraktiver. Durch die Möglichkeit, in kurzer Zeit hochauflösende Luftbilder eines Gebietes zu erstellen, sind Drohnen ein attraktives Werkzeug für den Einsatz in Fachgebieten wie z.B. Archäologie, Klimaforschung, Meeresbiologie, Umweltforschung und weitere. Ein Beispiel dafür wäre das Schweizer Institut für Schnee- und Lawinenforschung, welches den Einsatz von Drohnen für die Fernerkundung,

wie z.B. die Messung von Schneeschichtdicken unter Verwendung von drohnen-gestützten Laserscannern, prüft (SLF 2017). Der Nutzung von Drohnen in der Forschung sind kaum Grenzen gesetzt. Die Forschung kann sich auf ein breites Spektrum von energieeffizienten Sensoren abstützen: bildgebende Sensoren (herkömmliche Foto- oder Videokamera, Infrarotkamera, Wärmebildkamera, Mikrowellenradar, Hyperspektral-Kameras), physikalische und chemische Sensoren sowie elektromagnetische Sensoren. Drohnen ermöglichen das einfachere Erschliessen der dritten Dimension, wo bisher bemannte Flugzeuge oder Helikopter für Projekte zugezogen werden müssen oder auch nicht zum Einsatz kommen können (z.B. tiefe Flüge über Vulkane). Vor diesem Hintergrund wird auch der wirtschaftliche Aspekt deutlich. Einerseits kann der Betrieb kosteneffizienter ausfallen, aber auch der Mehrwert der neu gewonnenen Daten wiegt den höheren wirtschaftlichen Aufwand wieder auf. Eine Risikobetrachtung des Einsatzes von Drohnen anstelle von bemannten Luftfahrzeugen dürfte ebenfalls meistens positiv ausfallen.

Situation heute: Während viel im Bereich der Drohnenforschung selbst gearbeitet wird, ist auch der Einsatz von Drohnen als Werkzeug in der Forschung schon in Gebrauch. So verfügt zum Beispiel die Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften über eine Drohne, welche mit einer maximalen Zuladung von 10 Kilogramm zur Aufzeichnung diverser meteorologischer Daten oder zu anderen Einsatzzwecken verwendet werden kann. Auch im Bereich der atmosphärischen Forschung setzt die US-amerikanische National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Drohnen für meteorologische Beobachtungen ein. In der Archäologie haben sich Drohnen als wertvolles Instrument zur Erkennung von Mustern in der Erdoberfläche erwiesen, womit Rückschlüsse auf von Menschenhand geschaffene Elemente gezogen werden können. Auch in ökologischen (Forschungs-)Projekten werden Drohnen oft eingesetzt (siehe z.B. Jones et al. 2006; Chabot & Bird 2012; Barasona et al. 2014). Ein bekanntes Beispiel aus der Schweiz ist die NGO *Conservation Drones* der ehemaligen ETH-Forscher Lian Pin Koh und Serge Wich (Koh & Wich 2012; conservationdrones.org; Wich et al. 2016). Sie setzen leichte, selbst konstruierte Drohnen ein, um kosteneffiziente und hochauflösende Fotogrammetriedaten für unterschiedliche Projekte zur Konservierung des tropischen Regenwaldes zu erhalten, wie z.B. zum Biodiversitäts-Monitoring, aber auch im Kampf gegen Wilderei und illegales Abholzen.

Situation 2025: Drohnen werden in der Forschung ein wichtiges, nicht wegzudenkendes Werkzeug werden, da es durch ihren Einsatz möglich wird, mit relativ geringem Aufwand Daten aus der dritten Dimension zu erheben. Vornehmlich werden Drohnen weiter zum Zweck der Atmosphärenforschung eingesetzt werden, weil dieser Forschungszweig wesentlich auf räumliche Messungen angewiesen ist. Dabei könnten sie bemannte Flugzeuge besonders in denjenigen Anwendungsfällen ersetzen, wo Kosten tief gehalten werden sollten.

2.4.2.5 Landwirtschaft

In der Landwirtschaft werden zahlreiche Anwendungen für Drohnen diskutiert: Wasser- und Düngemittelmanagement für die Optimierung der Ernteausbeute, Einsatz als Sprühflugzeuge (Düngemittel, Pflanzenschutzmittel) oder besondere Einsatzformen wie das Retten von Rehkitzen vor dem Mähen. Einige Anwendungen existieren bereits seit Jahren. In Japan beispielsweise werden bereits seit den 1990er-Jahren unbemannte Hubschrauber bei der Bewirtschaftung von Reisfeldern eingesetzt (Arora 2016). In Deutschland und der Schweiz werden unbemannte Helikopter eingesetzt, um Weinberge zu besprühen. Diese sind in den steilen Hanglagen wesentlich effizienter als bodengebundene Sprühverfahren zu Fuss oder mit Fahrzeugen. Dank drohnengestützten multispektralen Kameras (siehe z.B. Gamaya, ein Spin-off der EPFL: www.gamaya.com) ist es möglich, den Zustand eines Feldes oder anhand des Zustands von Baumkronen die Gesundheit eines Waldes zu untersuchen. Anhand der gewonnenen Daten lässt sich der Einsatz von Dünger und Wasser optimieren, was schliesslich die Ausbringungsmenge einer Produktionseinheit optimiert. Der Einsatz von Drohnen in der Landwirtschaft dürfte mit geringem Risiko verbunden sein, denn die Operation findet wohl ausschliesslich über Vegetation statt, wo ausser Flurschaden wohl kaum Infrastruktur oder Personen geschädigt werden könnten (betr. Verletzungsrisiko von Vögeln siehe Abschnitt 2.6.2).

Wie gross der wirtschaftliche Nutzen tatsächlich ist, ist aber von Fall zu Fall zu prüfen. So nimmt offenbar bereits heute das Interesse für die Nutzung von Drohnen in der Landwirtschaft weltweit ab.²⁵ Für Nutzflächen ab einer bestimmten Grösse ist der Einsatz von Satellitentechnologie für die Erstellung von Luftbildern kostengünstiger und mit weniger Personalaufwand machbar. Da die Gewinnmarge in der Landwirtschaft relativ gering ist, müssen die Kosten von Innovationen sehr

²⁵ Feyen, Hans (Swiss Re, Interview vom 24.01.2017).

tief sein und vor allem eine wesentliche Produktionssteigerung bringen. Bei kleineren Betrieben oder spezialisierter Agrikultur (z.B. Weinbau), wie sie in der Schweiz oft anzutreffen ist, könnte sich aber der Einsatz von Drohnen lohnen, da die Betriebskosten im Vergleich zu bemannten Flugzeugen und Helikoptern tiefer sind.

Situation heute: Zurzeit werden Drohnen noch spärlich in der Landwirtschaft eingesetzt. Ein Beispiel ist die Ausbringung von Wirkmitteln zur Schädlingsbekämpfung, wie z.B. den Maiszünsler (Gabrieli 2017). Vielfach beschränkt sich die Anwendung von Drohnen aber noch auf das Aufspüren und Retten von Rehkitze. Es stünden allerdings schon heute, auch von Schweizer Unternehmen, effiziente Plattformen zur Verfügung, welche in der Landwirtschaft einen wertvollen Dienst tun könnten.

Situation 2025: In der Zukunft könnten Drohnen für spezifische Aufgaben in der Bewirtschaftung von hochwertigem und heiklem Saatgut in der Spezialitätenagronomie eingesetzt werden. Die zukünftige Entwicklung hängt allerdings stark von der Frage ab, ob in einem Geschäftszweig mit einem grossen Margendruck wie der grossflächigen Landwirtschaft ein nachhaltiger Nutzen generiert werden kann. Dies kann derzeit noch bezweifelt werden. Die Verwendung von Drohnen anstelle von Helikoptern zur Schädlingsbekämpfung an Hängen und in anderem schwer zugänglichen Gelände könnte allerdings zu einem durchaus üblichen Einsatzgebiet werden.

2.4.2.6 Medien und Unterhaltung

Drohnen, allen voran die Multikopter, sind ideale Plattformen für die Mitführung von Kameras. Mithilfe von GPS-Unterstützung ist es möglich, eine Kameradrohne eine vorgegebene Mission autonom abfliegen zu lassen, wobei sich der Operator beinahe vollständig auf die Bedienung der Kamera konzentrieren kann. Dies macht die Technologie zu einem optimalen Werkzeug für Medien und bei Events, wie z.B. bei Sportanlässen, zur Aufnahme von Fotografien und Videos. Spektakuläre Film- und Fotoaufnahmen aus Krisengebieten, wie z.B. aus Aleppo während dem Bürgerkrieg in Syrien in 2015 (Tagesanzeiger 2015), sind sehr medienwirksam und werden von der Bevölkerung stark wahrgenommen. In der Medienanalyse (Abschnitt 2.7.2.2) zeigt sich denn auch eine häufige Nennung von Drohnen im Kontext solcher Luftaufnahmen.

Auch in der Schweiz existieren diverse Unternehmungen, welche auf Auftragsbasis Luftaufnahmen für Baudokumentationen oder für touristische Zwecke erstellen. Neben der Erstellung von Bildaufnahmen werden Drohnen auch zu Unterhaltungszwecken eingesetzt. So wurde z.B. während der Halbzeit des Super Bowl 51 (2017), dem Endspiel der US-amerikanischen Football-League, mit 300 Drohnen eine US-amerikanische Flagge inszeniert (Roundtree 2017).

Der Einsatz von Drohnen für Luftaufnahmen über Infrastruktur oder über Menschenansammlungen ist stets mit einem gewissen Risiko behaftet. Dieses Risiko einzuschätzen und Massnahmen für eine sichere Durchführung zu definieren, ist Aufgabe des Drohnenbetreibers (siehe Abschnitt 3.3.1.2). Von einem wirtschaftlichen Standpunkt aus betrachtet, ist die Verwendung von Drohnen für die Erstellung von Luftaufnahmen, wofür sonst ein Helikopter zum Einsatz käme, eine kostengünstigere und einfachere Alternative.

Situation heute: Die Erstellung von Luftbildaufnahmen mit Drohnen ist heute schon weit verbreitet. Verschiedene Kleinanbieter bieten einen mehr oder weniger professionellen Service an. Einschränkungen bei der zukünftigen Entwicklung bestehen z.B. durch die verfügbaren Energiespeichertechnologien, was zurzeit noch die möglichen Einsatzdauern etwas in Grenzen hält.

Situation 2025: Zu dieser Zeit könnte für jede fragliche Situation eine passende Kameradrohne zur Verfügung stehen, wodurch der Helikopter als Kameraplattform an Bedeutung verliert. Bis 2025 wird eine Selektion stattfinden, wobei sich die Spreu vom Weizen trennen wird; wenige professionelle Anbieter mit einem grossen Arsenal und Expertise, auch in Bezug auf das Beantragen von Bewilligungen, werden sich entwickeln.

2.4.2.7 Transportwesen

Der autonome Transport von Gütern oder Personen von A nach B ist eine Einsatzmöglichkeit, welche in Zusammenhang mit Drohnen oft diskutiert wird. Die Nutzung von Drohnen für den *Personentransport* ist aus einer wissenschaftlichen Perspektive, besonders zum Beispiel in Hinblick auf den heutigen Stand der Technik von Batterien und Flugregler, noch schwer vorstellbar. Es gibt allerdings weltweit verschiedene Initiativen, die Personentransport mit unbemannten Luftfahrzeugen

zum Ziel haben. Diese Form des Transportes ist vor allem in Ballungszentren interessant, wo heute Helikopter zu diesem Zweck eingesetzt werden. In Dubai soll ein solches Lufttaxi noch 2017 den Betrieb aufnehmen. Dort soll die in China gebaute 8-Propeller-Drohne EHang 184 «einen Passagier mit einem Gewicht bis zu 100 Kilogramm transportieren» (Morris 2017). Verschiedene Firmen arbeiten an solchen Luftfahrzeugen, neben EHang (www.ehang.com) sind dies z.B. Lillium Aviation (lillium-aviation.com), E-Volo mit dem Volocopter (www.e-volo.com) oder Airbus Helicopters mit dem Drohnenkonzept CityAirbus (www.airbushelicopters.com). Solche Personentransporte ohne Pilot werden als Certified Category gemäss EASA eingestuft werden müssen, hierzu müssen dieselben Anforderungen wie in der bemannten Luftfahrt erfüllt werden. Die Zertifizierung wird daher teuer sein. Zudem müsste ein voll funktionstüchtiges Unmanned Air Traffic Management System zugelassen und operativ sein, damit ein sicherer Betrieb überhaupt möglich würde. Für eine spezielle Klientel, für die der Transport von A nach B schnell gehen muss, und in Zeiten von immer mehr verstopften Strassen sind solche Personal Taxi Flyer aber sehr wohl attraktiv und denkbar. Es ist daher auch nicht überraschend, dass Airbus an solchen Konzepten mit Hochdruck arbeitet, da so ein Service viel günstiger sein wird als ein Helikoptertransport. In der Schweiz werden Helikopter zum privaten und kommerziellen Personentransport vor allem in den Alpen eingesetzt. Hier sind die Flugbedingungen durch Wetter, Gelände und unkontrollierten Luftraum wesentlich anspruchsvoller als über den genannten Ballungsräumen. Ein Ersatz bemannter Helikopter durch Drohnen ist damit entsprechend schwieriger.

Wesentlich realitätsnaher ist die Nutzung von Drohnen im Zustellungswesen. Drohnen für den Gütertransport sind derzeit vor allem bei Logistikunternehmen für die Paketzustellung in der Entwicklung. Technologisch führend ist hier DHL mit dem Paketkopter (DHL 2016). Amazon verfolgt mit PrimeAir ein ähnliches Projekt.²⁶ Auch die Schweizerische Post will zukünftig Spezialsendungen mit Drohnen zustellen können. Dazu arbeitet sie mit dem US-amerikanischen Drohnenhersteller und -betreiber Matternet zusammen, da in der Schweiz kein Drohnenhersteller identifiziert werden konnte, der die Anforderungen der Post erfüllt. Erste Flugtests haben im März 2017 in Lugano stattgefunden. Dabei wurden medizinische Proben zwischen zwei Spitälern mit Multikoptern transportiert (NZZ 2017). Zur Einführung eines solchen auf Drohnen basierenden Paketzustelldienstes gilt es allerdings,

²⁶ Nachzuschlagen <https://www.amazon.com/Amazon-Prime-Air/b?ie=UTF8&node=%2080377200111>.

noch wichtige Hürden zu nehmen. Dies ist einerseits das regulatorische Problem, wo nur in Ausnahmefällen mit strengen Auflagen eine Bewilligung für Flüge, die über die natürliche Sichtweite hinausgehen (BVLOS), genehmigt werden. Ausserdem wäre ein leistungsfähiges, autonomes Flugkoordinationssystem, ein *Unmanned Traffic Management* (U-Space), nötig, damit solche Zustellaktivitäten in einer geordneten und für alle beteiligten Parteien sicheren Art und Weise abgewickelt werden können. Denn das Risiko von Paketzustellaktivitäten in bewohnten Gegenden ist nicht ohne signifikantem Risiko durchführbar, vor allem wenn man die bisher übliche Methode der bodengestützten Zustellung zu einem Vergleich heranzieht. Eine grosse technische Hürde findet sich in der momentan maximal möglichen Paketgrösse von ungefähr 2 bis 3 Kilogramm, womit die Grösse des Fluggeräts noch auf einem praktikablen Niveau bleibt. Zum Schluss liegt bei der Batterieenergiedichte noch eine Herausforderung, denn momentan sind die erreichbaren Flugzeiten noch nicht praxistauglich. Vor diesem Hintergrund ist zu erwarten, dass die Zustellung von Paketen durch Lieferwagen wirtschaftlich effizienter gestaltet werden kann. Es ist schwer vorstellbar, dass mit Drohnen ähnlich tiefe Transportpreise erzielt werden können, besonders weil zuerst eine entsprechende Infrastruktur, Betriebssysteme und Ausbildungen entwickelt werden müssen und der Unterhalt einer Drohne auch eingerechnet werden sollte. Eine Ausnahme von dieser Feststellung sind Speziallieferungen von wertvollen Gütern oder von Gütern, deren Zustellung zeitkritisch ist. Ihre Zustellung kann mit Drohnen wirtschaftlich vorteilhaft erledigt werden.

Situation heute: Die kommerzielle Applikation von Drohnen zur Zustellung von Gütern oder Personen hat noch nicht den Einzug ins tägliche Leben geschafft. Es existieren allerdings Pilotprojekte, erwähnt werden kann hier der Transport von Blutproben zwischen zwei Spitälern in Lugano, wo die Schweizerische Post eine wichtige Rolle spielt (Tagesanzeiger 2017).

Situation 2025: Dass ein regelmässiger, autonomer Personentransport mit Drohnen bis 2025 durchgeführt wird, ist sehr unwahrscheinlich, denn dafür sind noch zu viele Fragen unbeantwortet, z.B. nach einem Flugregelsystem (U-Space) oder überhaupt die Zertifizierung solcher Transportmittel nach internationalen Standards. Pilotprojekte könnten realistisch sein, so möchte Airbus sein CityAirbus ab 2023 in einer Stadtumgebung testen (Warwick 2017b: 37). Im Bereich des Paketzustelldienstes stellt sich die Frage, ob es möglich ist, für die grosse Masse der Standardpakete einen nachhaltig wirtschaftlichen Nutzen zu generieren. Eine

Chance besteht für wertvolle und zeitkritische Spezialsendungen über kurze und mittlere Distanzen, dass bis dann eine praktikable Lösung gefunden werden kann.

2.4.2.8 Vermessungs- und Überwachungswesen

Auch im Vermessungs- und Kontrollwesen wird der Einsatz von Drohnen anstelle von oder parallel zu herkömmlichen Erhebungsmethoden diskutiert. Mit ihrer Fähigkeit, eine breite Auswahl von Sensoren und Kameras mitzuführen und Gebiete autonom und umfassend abzufliegen, sind Drohnen ein nützliches Instrument in der Geodäsie und sehr gut auf diesen Anwendungsbereich zugeschnitten. Mit dem heutigen Stand der Fotogrammetrie und Bildverarbeitungssoftware ist es möglich, z.B. die Vermessung einer Kiesgrube zeitlich und kostenmässig effizient durchzuführen. Das Erstellen von Geländemodellen und andere Teilbereiche des geographischen Informationssystems können ebenfalls mittels Einsatz von Drohnen unter Zuhilfenahme von Sensoren oder Kameras, die entsprechende Daten liefern können, abgedeckt werden. Angedacht und in Erprobung ist auch der Einsatz von Drohnen zur Inspektion von linearer Infrastruktur wie Hochspannungsleitungen oder Bahninfrastruktur (Schienen, Leitungen).

Ein weiterer denkbarer Einsatzbereich ist das Natur- und Wildtier-Monitoring. Das Zählen von Wildtierpopulationen, beispielsweise einer Pinguinkolonie, mit einer Drohne dürfte eine sinnvolle Einsatzmöglichkeit für Drohnen darstellen, denn der Einsatz eines Flugzeugs wäre hier kostenmässig deutlich unterlegen. Auch zur Beobachtung und Überwachung von Bären oder Wölfen in der freien Natur, was mit dem zurzeit vermehrten Auftreten dieser Tiere in der Schweiz auch hierzulande wichtig werden wird, ist ein Drohneneinsatz durchaus nicht abwegig.

Die Vermessung und Kontrolle von Objekten zur Schadenserfassung ist insofern auch für die Versicherungsbranche von grossem Interesse, da unter Umständen eine schnellere, genauere und für den Schadensprüfer beinahe risikobefreite Investigation eines Schadens, z.B. eines abgedeckten Hausdaches, möglich ist und so Versicherungsfälle effizienter abgewickelt werden können. Je nach abzudeckender Fläche ist heute die Ablösung von bemannten Flugzeugen durch Drohnen denkbar und auch aufgrund der gewonnenen Flexibilität im Einsatz sinnvoll. Denn wieweit diese Ablösung möglich wird bzw. wie viel Fläche durch Drohnen abgedeckt werden kann, ist eine Frage der Entwicklung der Energiespeichertechnologie, wovon die mögliche Flugzeit direkt abhängt. Aus ökonomischer Sicht ist es

wahrscheinlich, dass Drohnen für die Ausführung von Arbeiten, wozu bisher Flugzeuge zum Einsatz kommen, Einzug halten. Was der Benefit der Inspektion von Bahninfrastruktur aus der dritten Dimension ist im Vergleich zu zum Beispiel am Zug selbst installierte Sensoren zur Inspektion von Fahrleitungen, ist wohl von Fall zu Fall eingehend zu prüfen.

Situation heute: Mit heute verfügbaren Drohnen ist es möglich, diese zielbringend zur Vermessung von Gelände, Erstellung von Modellen von Kiesgruben, Mülldeponien und Ähnliches einzusetzen. Einsätze zur Überwachung von Bahnlinienabschnitten über sinnvolle Distanzen mit BVLOS-Flügen werden heute kaum durchgeführt. Lokal setzt die SBB Drohnen zur Überwachung von Couloirs oder Schutzmassnahmen ein, wobei sie eine Bewilligung für Flüge ohne direkten Sichtkontakt zu diesen Zwecken vom BAZL hält (SBB 2017). Im Bereich des Wildtier-Monitorings werden zurzeit Pilotprojekte und Versuche durchgeführt, wobei ermittelt wird, wie es um die Genauigkeit dieser neuen Art von Datenerhebung steht (Hodgson et al. 2016).

Situation 2025: Angesichts der zurzeit zur Verfügung stehenden Fähigkeiten von Drohnen ist abzusehen, dass auch im Vermessungs- und Kontrollwesen Drohnen zu einem wichtigen Werkzeug werden, weil sie günstiger und flexibler in der Verwendung sind im Vergleich zu bemannten Flugzeugen. Neue Sensoren, deren Einsatz an Drohnen unkomplizierter und schneller möglich ist, ermöglichen neue Perspektiven auf die Erde. Besonderes Potenzial besteht auch bei der Verarbeitung der durch Drohnen gewonnenen Datenmenge, was eventuell für einen normalen Anwender zu kompliziert wäre oder zu viel Aufwand bedeuten könnte. Ein solcher Ansatz sollte im Rahmen von wirtschaftlichen Abklärungen geprüft werden.

2.4.3 Illegale Nutzung

Wie jede andere Technologie auch, lassen sich Drohnen für illegale Zwecke missbrauchen. Im Vergleich zum Missbrauch bemannter Luftfahrzeuge und konventioneller ferngesteuerter Flugmodelle geht mit der Drohnentechnologie aber eine neue Qualität der Gefährdung einher. Dies hat vor allem drei Gründe: Erstens ist zur Bedienung hochautomatisierter Drohnen keine spezielle Pilotenausbildung

zwingend nötig, zweitens lassen sich Drohnen durch die voranschreitende Miniarisierung leichter verdeckt bzw. unbemerkt einsetzen; drittens lässt sich die Technologie vergleichsweise einfach beschaffen. Letzteres gilt vor allem für Drohnen aus dem Konsumgüterbereich.

Folgende illegale Einsatzgebiete von Drohnen werden derzeit diskutiert:

- **Bruch der Privatsphäre:** Die am stärksten öffentlich diskutierte und alltäglichste Missbrauchsform von Drohnen betrifft den Bruch der Privatsphäre. Dies kann den einfachen Bürger betreffen, der sich z.B. auf einer Dachterrasse sonnt und von einer Drohne beobachtet wird; oder aber Prominente, wenn Paparazzi Drohnen für verdeckte Aufnahmen nutzen, die dann für einen hohen Preis verkauft werden können. Drohnen werden trotz der geringeren Verbreitung als deutlich invasiver als andere digitale Aufnahmemedien, beispielsweise Handykameras, wahrgenommen (Klauser & Pedrozo 2017), da sie durch ihre Mobilität vormals dem öffentlichen Blick entzogene Räume auf neue Weise einsehbar machen. Verschiedene Einzelfälle und daraus resultierende Rechtsstreitigkeiten sind medienwirksam bekannt geworden, gesicherte statistische Daten zur Häufigkeit solcher Verstösse liegen derzeit jedoch nicht vor (und sind auch schwer zu erheben). Oftmals werden solche Verletzungen der Privatsphäre auch nicht bewusst verursacht, sondern durch Unkenntnis der geltenden Rechtslage (eine Übersicht der wichtigsten Regelungen findet sich auf der Website des Eidgenössischen Datenschutzbeauftragten²⁷). Problematisch sind insbesondere die fehlenden Möglichkeiten, solche Gesetzesverstösse effektiv zu verfolgen, da die Drohne nicht eindeutig einem Operateur oder Besitzer zugeordnet werden kann.
- **Schmuggel:** Drohnen eignen sich insbesondere für das Schmuggeln von wertvollen, aber leichten Substanzen wie etwa Drogen (z.B. über Landesgrenzen oder in Gefängnisse). Inzwischen sind zahlreiche solcher Vorfälle dokumentiert, insbesondere an der Grenze zwischen Mexiko und den USA (Remote Control Project 2016). Auch Schweizer Gefängnisse haben das Risiko erkannt und versuchen, sich dagegen zu schützen (Riklin

²⁷ Siehe: <https://www.edoeb.admin.ch/datenschutz/00625/00729/01171/01326/index.html>, letzter Zugriff 18.09.2017.

2015). Die JVA Lenzburg hat beispielsweise eine Detektionsanlage installiert, um frühzeitig vor anfliegenden Drohnen gewarnt zu sein (Aargauer Zeitung 2016).

- **Spionage:** Drohnen können für das Ausspionieren von kritischer Infrastruktur, Industrieanlagen und dergleichen genutzt werden. Prominentes Beispiel ist die Serie von über 30 nicht identifizierten Drohnenflügen über mehreren AKWs in Frankreich (Greenpeace 2014). Auch in der Schweiz hat es einen Fall gegeben, in dem ein Aktivist das AKW Mühleberg mit einer Drohne gefilmt hat (Wietlisbach 2014). Eine ähnliche Problemlage stellen Fälle dar, in denen Journalisten oder Aktivisten Drohnen gesetzeswidrig einsetzen, um andere Gesetzesübertretungen zu dokumentieren und öffentlich zu machen. Schwere Fälle, in denen durch Spionage mittels Drohnen ein relevanter wirtschaftlicher Schaden oder eine Gefährdung der Infrastruktur entstanden ist, sind bislang nicht bekannt geworden. Insbesondere Drohnen, die mit komplexeren Sensoren als blossen Kameras ausgestattet wären, könnten aber durchaus sensible Daten, z.B. Telekommunikationsdaten, sammeln.
- **Terrorismus:** Eine ernst zu nehmende Bedrohung ist die terroristische Nutzung von Drohnen zum Auskundschaften von Anschlagszielen oder direkt für Bombenanschläge oder das Ausbringen biologischer oder chemischer Kampfstoffe. Die Terrororganisation Islamischer Staat hat in Syrien und Irak bereits kleine, handelsübliche Drohnen mit Sprengstoff bestückt und eingesetzt, wobei mehrere Personen verletzt und getötet wurden (Rassler, al-Ubaydi & Mironova 2017; Remote Control Project 2016). Bislang ist es ausserhalb solcher Kriegsszenarien noch nicht zu Anschlägen mit zivilen Drohnen gekommen. Es wird jedoch verschiedentlich vor dem Risiko gewarnt, dass solche Anschläge auch bei Grossveranstaltungen, z.B. in Fussballstadien, verübt werden könnten (Bundeskriminalamt 2015). Mit Drohnen könnte die Sicherheitsinfrastruktur der Veranstaltungsorte umgangen werden. Es ist jedoch einschränkend zu bemerken, dass die kleinen, im Handel leicht zugänglichen Drohnen nur sehr geringe Mengen an Sprengstoff transportieren können, sodass ein solcher Anschlag von begrenzter Reichweite wäre. Theoretisch wäre aber auch ein Anschlag mit einer grösseren, zwar teureren, aber dennoch leicht zugänglichen Drohne denkbar, die dann auch deutlich grössere Mengen Sprengstoff tragen könnte. Zu beachten ist schliesslich auch, dass Ausschreitun-

gen durch Provokationen mittels Drohnen auch ohne besondere Wirkmittel ausgelöst werden können. Ein bekannter Fall fand im Jahr 2014 statt, als während eines Länderspiels zwischen Serbien und Albanien Unbekannte eine Drohne durch das Stadion mit einer albanischen Flagge flogen, was Ausschreitungen und den Spielabbruch zur Folge hatte.²⁸

Drohnenabwehr ist deshalb zu einem wichtigen Thema geworden. Im folgenden Unterkapitel werden die wesentlichen Entwicklungen in diesem Bereich erfasst.

2.4.3.1 Massnahmen gegen die illegale Nutzung von Drohnen

Mit der zunehmenden Verbreitung von Drohnen wird auch die Abwehr gegen die illegale Nutzung von Drohnen immer wichtiger. Es wird eine Herausforderung sein, schützenswerte Infrastruktur wie Atomkraftwerke, militärische Anlagen, Gefängnisse und andere Anlagen effektiv von Bedrohungen durch Drohnen abzuschirmen, sei es das Fernhalten von ungewollten Kameradrohnen oder das Verhindern von kriminellen Handlungen. Die Abwehr von Drohnen ist heute schon ein in der Fachwelt prominent diskutiertes Geschäftsfeld und es existieren diverse, mehr oder weniger Erfolg versprechende Methoden zur Drohnenabwehr. Grob lassen sich diese Gegenmassnahmen in elektromagnetische und physische Gegenmassnahmen einteilen.

Bei den **elektromagnetischen Gegenmassnahmen** wird versucht, eine Drohne zuerst zu detektieren und darauf diese mittels elektromagnetischer Impulse entweder zum Absturz zu bringen oder die Kontrolle zu übernehmen. Zur Detektion existieren einerseits stationäre Lösungen, wie sie z.B. mit dem System von Dedrone am World Economic Forum 2017 in Davos (Williams 2017) eingesetzt wurden. Für die eigentliche Abwehr muss dann ein Störsender eingesetzt werden. Es wird an tragbaren, gewehrähnlichen Geräten mit kraftvollen Richtantennen entwickelt, wodurch eine Drohne ins Visier genommen und neutralisiert werden kann. So kann sehr flexibel auf eine drohende Gefahr reagiert werden. Allerdings sind solche «Drohnenkanonen» vorerst noch mehrheitlich auf die Frequenzbänder von käuflichen Drohnen (2.4 und 5.8 GHz) ausgerichtet, sodass auf eine professionell geplante illegale Handlung mit hochstehendem Equipment, welches auf anderen

²⁸ Quelle: <http://www.n-tv.de/sport/fussball/Serbien-und-Albanien-droht-Quali-Ausschluss-article13787721.html>.

Frequenzbändern funktioniert, kaum reagiert werden kann. Zudem muss für einen erfolgreichen Abschuss direkter Sichtkontakt zur Drohne bestehen.

Dem gegenüber stehen die konventionelleren, physischen Abwehrmethoden, welche im Anschluss einer Detektion stattfinden. Dazu existieren verschiedene Varianten. Mögliche Abwehrmassnahmen beinhalten Abschüsse mit konventionellen Gewehren oder Schrotflinten, Laser oder Raketen. Da dadurch allerdings meist die Zerstörung der Drohne erreicht wird, könnte dies rechtliche Konsequenzen mit sich ziehen (siehe z.B. Kapitel 3.3.2.) und allenfalls ein Risiko für Elemente in der unmittelbaren Nähe darstellen. Sogar Greifvögel werden zur Abwehr von kleineren käuflichen Drohnen abgerichtet.²⁹ Physische Gegenmassnahmen, wobei nicht die Zerstörung einer Drohne erreicht wird, könnte z.B. die Abwehr mit Netzen, abgeschossen von entsprechenden bodengestützten oder selbst drohngestützten Abschussvorrichtungen sein. Die Schweizer Firma Skysec Gmbh (www.skysec.ch) entwickelt derzeit ein auf solchen Netzen basierendes Abwehrsystem. Nach einer erfolgreichen Abwehraktion sollten die Abwehdrohne und die Angreiferdrohne mit einem Fallschirm zu Boden gleiten, wodurch das Schadensrisiko für Personen, Umwelt und Infrastruktur am Boden minim bleiben sollte.

Während heute noch wenige Produkte zur Drohnenabwehr verfügbar sind, könnte der Bedarf in Zukunft enorm wachsen. Dabei muss dieser Sektor mit der Entwicklung der Drohnentechnologie Schritt halten, um kein Ungleichgewicht zwischen Angreifer und Verteidiger entstehen zu lassen. Dazu ist allerdings ein Zusammenspiel von Industrie, Behörden und Regulatoren nötig.

2.5 Wirtschaftliche Möglichkeiten und Grenzen

2.5.1 Formen der wirtschaftlichen Nutzung von Drohnen

Um die wirtschaftliche Bedeutung von Drohnen abschätzen zu können, muss zuerst eine Übersicht über die wirtschaftlichen Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie erstellt werden. In diesem Bericht kann keine präzise, quantitative

²⁹ Siehe dazu: <https://spectrum.ieee.org/autobot/robotics/drones/dutch-police-training-eagles-to-take-down-drones> 18.09.2017.

Aussage zu den wirtschaftlichen Möglichkeiten und Grenzen der Drohnentechnologie gemacht werden, denn die Studie ist nicht als Marktstudie konzipiert. Dennoch sollen diese Ausführungen eine Abschätzung der wirtschaftlichen Bedeutung der Drohnentechnologie insbesondere für die Schweiz erlauben.

Es lassen sich derzeit die folgenden sieben Formen der wirtschaftlichen Nutzung von Drohnen unterscheiden:

- **Nutzung im militärischen Bereich:** Produktion, Einsatz und Unterhalt für Drohnen im militärischen Bereich ist schon seit gut 20 Jahren ein zunehmend wichtiger werdender Bereich der Rüstungsindustrie und übertrifft umsatzmässig die zivile Drohnenwirtschaft auch heute noch klar. Ein Grund dafür ist, dass militärische Drohnen deutlich teurer sind als die heute zivil genutzten Systeme.³⁰ Vier US-amerikanische Firmen – General Atomics, Northrop Grumman, Textron und Boeing – dominieren den US-amerikanischen Markt, den grössten Drohnenmarkt im Rüstungsbereich.³¹ Doch auch andere Staaten bauen, z.T. mit staatlicher Unterstützung (z.B. Russland und China), eine militärische Drohnenindustrie auf (europäische Hersteller sind z.B. Airbus Defence & Space, BAE Systems und Rheinmetall). Ein wichtiger Exporteur ist auch der israelische Hersteller Elbit Systems, der die neuen Hermes-900-Drohnen für die Schweizer Luftwaffe liefert.³² Zuverlässige Informationen zu den wirtschaftlichen Aufwendungen für Betrieb, Unterhalt, Ausbildung militärischer Drohnenpiloten etc. sind nur schwer erhältlich. Da aber die militärische Nutzung von Drohnen nicht im Fokus dieses Berichtes ist, wird dieser wirtschaftliche Sektor hier nicht weiter betrachtet.
- **Produktion von Drohnen:** Ein wichtiger Wirtschaftszweig ist die Herstellung von Drohnen selbst. Das Spektrum reicht dabei von preiswerten

³⁰ Beispielsweise die MQ-9 Reaper der US Air Force, das Nachfolgemodell der *Predator*-Drohne, kostet pro Stück rund 64.2 Mio. US\$; Quelle: <http://www.af.mil/About-Us/Fact-Sheets/Display/Article/104470/mq-9-reaper/>.

³¹ Gemäss einer Studie des Marktforschungsunternehmens Govini sollen diese vier Hersteller rund zwei Drittel des US-amerikanischen Marktes dominieren. Quelle: <http://www.c4isrnet.com/unmanned/uas/2016/04/06/four-companies-dominate-the-military-drone-market/>.

³² Bereits die seit den 1990er-Jahren eingesetzte Aufklärungsdrohne ADS-95 der Schweizer Luftwaffe wurde von der RUAG in Emmen in Zusammenarbeit mit einem israelischen Hersteller entwickelt, der Israel Aerospace Industries Ltd.

Spielzeugdrohnen bis zu ausgefeilten technischen Systemen. Das Produkt umfasst in der Regel nicht nur die Drohne selbst, sondern die entsprechenden Steuerungssysteme, die je nach Komplexität der Drohne sehr ausgefeilt sein können. Zu diesem Wirtschaftsbereich finden sich vergleichsweise zuverlässige Zahlen, worauf sich die meisten, unter anderem auch die unten erwähnten Studien denn auch stützen und so zu ihren Schlussfolgerungen kommen.

- **Hersteller von Drohnentechnologien:** Drohnen sind Plattformen und damit Träger sehr unterschiedlicher Systeme, die unabhängig von Drohnen hergestellt werden können (z.B. Kameras oder andere Sensoren). Zudem kann auch die Steuerungssoftware oder Soft- und Hardware für drohnengestützte Dienstleistungen durch eigenständige Unternehmen – viele davon sind heute Start-ups – auf den Markt gebracht werden. Hersteller von Drohnentechnologien können auch als Zulieferer für Drohnenhersteller operieren. Die Entwicklung dieses Segments ist durch eine hohe Dynamik geprägt (z.B. Kauf von Start-ups durch Grossfirmen), was eine zuverlässige Situationsbestimmung und ein Ausblick in die Zukunft schwierig macht.
- **Test und Zertifizierung von Drohnen:** Viele Anwendungen von Drohnen sind heute noch experimenteller Natur und bedürfen entsprechender Tests. Die damit verbundenen Dienstleistungen inklusive das Zurverfügungstellen von Testzonen dürfte ein insgesamt kleines, für die Entwicklung des Drohnengeschäfts aber nicht unwesentliches wirtschaftliches Segment bilden. Dazu gehört auch die allfällige Zertifizierung von Drohnen, wobei dieser Teil des Geschäfts massgeblich von den regulatorischen Entwicklungen abhängen dürfte. Mit diesen teils noch undefinierten Rahmenbedingungen ist es nicht möglich, das Zukunftspotenzial dieses Sektors einzuschätzen.
- **Anbieter von Dienstleistungen per Drohnen:** Ein sich zunehmend entwickelnder Wirtschaftsbereich nutzt Drohnen für das Anbieten verschiedener professioneller Dienstleistungen (siehe dazu Abschnitt 2.4.2). Das Spektrum ist hier sehr gross und reicht vom Einmannunternehmen bis hin zu grossen Unternehmen, die Dienstleistungen per Drohnen in ihr Portfolio aufnehmen wollen. Zu diesem Bereich kann man auch Versicherungen

zählen. Auch hier ist es aufgrund dieser Heterogenität äusserst schwierig, mit verhältnismässigem Aufwand verlässliche Aussagen über die heutige und zukünftige Wirtschaftlichkeit der einzelnen Anwendungsfelder zu machen. Dennoch treten einzelne Anwendungsfelder immer wieder in Studien auf, wo dann versucht wird, eine entsprechende Prognose zu machen.

- **Unterhalt von Drohnen:** Je stärker Drohnen professionell eingesetzt werden, desto mehr wird sich auch ein Markt für den Unterhalt von Drohnen etablieren – vorab für grössere Drohnen mit langen Betriebszeiten. Dieser Markt dürfte aber erst in Zukunft eine relevante Grösse erreichen, wenn eine ausreichende Zahl komplexer Drohnen nachgefragt werden. Abschätzungen für die wirtschaftlichen Aufwendungen für den Drohnenunterhalt könnten aus den militärischen Erfahrungen abgeleitet werden; diese sind aber wiederum schwer zu beschaffen.
- **Ausbildung von Drohnenpiloten:** Schliesslich dürfte sich auch die Ausbildung von Drohnenpiloten zu einem Markt entwickeln, dessen Dynamik aber massgeblich von der regulatorischen Situation abhängen wird, d.h. davon, ob der Gesetzgeber für bestimmte Drohnenleistungen eine entsprechende Ausbildung der Piloten verlangt, insbesondere, wenn vergleichsweise grosse Drohnen für professionelle Anwendungen benutzt werden. Aufgrund der noch kleinen Zahl an Anbietern von Ausbildungen ist eine zuverlässige Abschätzung der Wirtschaftskraft dieses Segment der Drohnenwirtschaft noch nicht möglich.

Wie schon angedeutet wurde, ist es aufgrund der vorherrschenden Dynamik bezüglich Regulationen und Eigentumsverhältnissen von Firmen sehr schwer, eine valide Situationsbeschreibung der Drohnenindustrie zu machen, geschweige denn eine zuverlässige Einschätzung der Zukunft zu erstellen. Im Folgenden wird versucht, ein möglichst akkurates Bild der aktuellen internationalen und nationalen Drohnenindustrie aufzuzeigen, gefolgt von einer Einschätzung, in welche Richtung sich diese entwickeln könnte. Von einer detaillierteren Betrachtung des militärischen Drohnenmarkts wird verzichtet.

2.5.2 Status der Drohnenindustrie

2.5.2.1 Status der internationalen Drohnenindustrie

Allgemeine Zahlen zum internationalen Drohnenmarkt sind leider nur spärlich vorhanden, allerdings ist klar, dass in den letzten Jahren die Anzahl ziviler Drohnen, welche weltweit im Einsatz stehen, zugenommen hat. Es existiert ein regelrechter Boom, welcher wahrscheinlich auch noch in Zukunft anhalten wird. Alleine in Europa wird geschätzt, dass bis 2050 insgesamt 400'000 Drohnen zu kommerziellen Zwecken oder im behördlichen Einsatz stehen (heute: 10'000) und vermutlich gegen 7 Millionen Hobbydrohnen (heute: 1–1.5 Millionen) geflogen werden könnten (SESAR 2016). Die US-amerikanische Luftfahrtbehörde Federal Aviation Agency (FAA) schätzt, dass in den USA bis 2021 etwa 422'000 kommerzielle Drohnen (heute: 42'200) und bis zu 3.55 Millionen Hobbydrohnen (heute: 1.1 Millionen) im Einsatz stehen werden (FAA 2017). Die unten stehende Abbildung 6 zeigt die entsprechende Prognose der FAA für den US-amerikanischen Markt; die FAA bemerkt dazu, dass insbesondere die Prognose für die kommerzielle Nutzung sehr unsicher sei, weil dies stark vom Regelwerk abhängen würde. Die Grafik zeigt auch, dass deutliche grössere Zahl an Drohnen im Hobbybereich angesiedelt sind, die FAA dort aber mit einer Abflachung des Wachstums rechnet.

Eine offizielle Liste der weltgrössten Drohnenhersteller existiert nicht, weil nicht von allen Unternehmen Verkaufs- oder Umsatzzahlen vorliegen. Ein Anhaltspunkt bietet allerdings das deutsche Marktforschungsunternehmen Drone Industry Insights (droneii.com), welches quartalsweise ein Ranking basierend auf Google-Suchaufträgen und ähnlichen Parametern herausgibt. Zuletzt waren im 3. Quartal 2016 die drei wichtigsten Firmen in absteigender Reihenfolge DJI Technology Co., Parrot SA und Xiaomi Tech (Drone Industry Insight 2016). Inwiefern diese allerdings repräsentativ ist, ist schwierig einzuschätzen – so findet sich ein oft im Internet gesuchtes Produkt schnell in der Statistik wieder. Zur Frage, wie es um dessen Verkaufszahlen steht, kann die Statistik keine Antwort liefern. Allerdings lassen sich in dieser Auflistung gewisse «Dauerbrenner» identifizieren: Unbestrittene Anführer im zivilen Drohnenmarkt dürften zurzeit wohl DJI Technology Co. und Parrot SA sein.

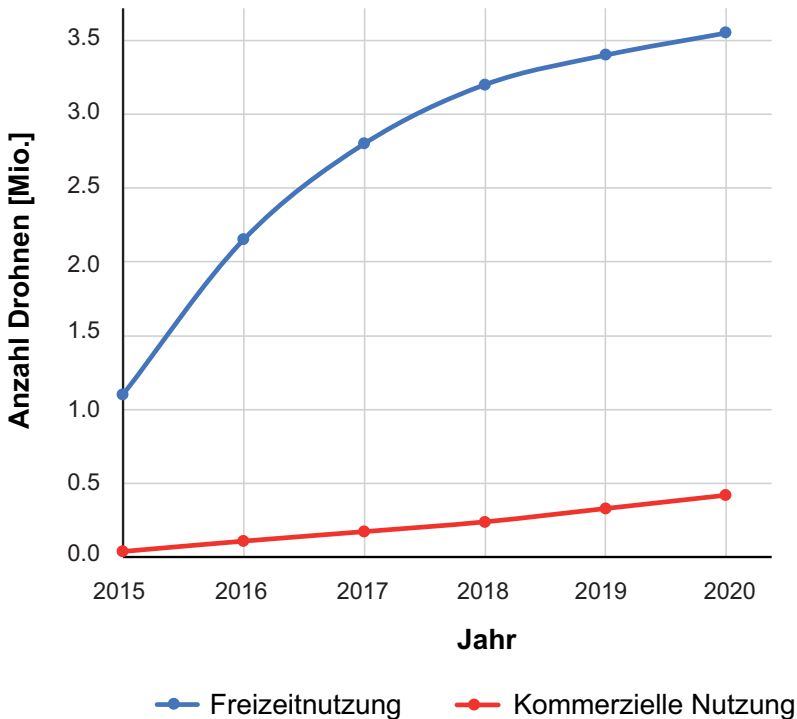


Abbildung 6: Prognose der Anzahl Drohnen aus FAA Aerospace Forecast (adaptiert aus www.recode.net).

Die chinesische DJI Technology Co. ist hauptsächlich dafür bekannt, mit Drohnen wie dem Phantom (aktuell in der Version 4 Pro) oder dem Mavic entsprechende Hobbydrohnen mit umfassenden Luftaufnahmefähigkeiten anzubieten, welche auch durch einen ungeübten Operator problemlos betrieben werden können. Diese Produkte erfreuen sich grosser Beliebtheit bei den Kunden. Demgegenüber hat sich DJI auch als Hersteller von professionellen, kommerziellen Drohnen etablieren können. Neben professionellen Luftaufnahmedrohnen expandiert DJI auch in Bereichen wie der Landwirtschaft oder der Inspektion von Infrastruktur. Insgesamt erwartete DJI einen Umsatz von knapp 1.5 Milliarden US-Dollar und dürfte damit zum umsatzstärksten Player der zivilen Drohnenindustrie zählen.

Parrot SA ist ein französisches Elektronikunternehmen, welches schon 2010 mit der «AR.Drone» eine entsprechende Hobbydrohne vorgestellt hat. Parrot ist mit

einem Umsatz von rund 233 Millionen Euro in 2016 (Parrot 2017a) zwar ein grosser Player, allerdings wesentlich kleiner als die DJI Technology Co. Mittlerweile hat das Unternehmen zwei weitere Hobbydrohnen im Portfolio. Allerdings wurde Ende 2016 klar, dass dieser Sektor im Unternehmen nicht profitabel wachsen kann und umorganisiert werden muss – zu einer Kosteneinsparungsmassnahme gehört auch ein Stellenabbau. Im Bereich der kommerziellen Drohnen (zur Vermessung, Landwirtschaft und Inspektion von Infrastruktur) sieht Parrot allerdings Potenzial und will in 2017 weiter wachsen (Parrot 2017b). Erwähnenswert dabei ist, dass mit SenseFly und Pix4d ein Schweizer Drohnenhersteller und eine Softwarefirma zur Parrot-Gruppe gehören.

Auch wenn Parrot zwar französischer Herkunft ist, ist festzustellen, dass die wichtigen Player der Drohnenindustrie vorwiegend in China oder den USA zu finden sind und somit eine entsprechende Konzentration von Know-how vorliegt. Doch auch die Schweiz gilt als Drohnentechnologieschmiede, welche eine Vielzahl von Start-ups und Unternehmen hervorgebracht hat.

2.5.2.2 Status der Schweizer Drohnenindustrie

Generelle Kennzahlen zur wirtschaftlichen Nutzung von Drohnen in der Schweiz sind ebenfalls mit einer gewissen Vorsicht zu geniessen. So gibt es zur Zahl der in der Schweiz betriebenen Drohnen unterschiedliche Angaben. Gemäss BAZL waren im Jahr 2015 in der Schweiz ca. 20'000 Drohnen im Einsatz, wobei unklar ist, wie viele davon kommerziell und wie viele für private Zwecke genutzt wurden. Das Marktforschungsinstitut GfK schätzte 2017 die Zahl der Drohnen in Schweizer Haushalten auf über 100'000 Stück (Inside-IT 2017), was eine Verfünffachung der Anzahl Drohnen innert zwei Jahren darstellen würde.

Bezüglich Umsatz existieren genauere Zahlen. Gemäss dem Schweizerischen Verband Ziviler Drohnen (SVZD) werden pro Jahr zwischen 200 bis 400 Millionen Franken für Drohnen umgesetzt (Inside-IT 2017). Dieser enorme Aufwärtstrend wird durch die Verkaufszahlen von Digitec/Galaxus (Hämmerli 2017) bestätigt, denn zwischen 2014 und 2016 hat sich der mit Drohnen erzielte Umsatz versiebenfacht. Die Verkäufe der Schweizer Firmen sind mit Ausnahme von SenseFly, die mit ihren Vermessungsdrohnen mit Kameras weltweit sehr erfolgreich sind (und mittlerweile zur Parrot-Gruppe gehören), verhältnismässig klein. Bei den Verkäufen an Private in der Schweiz dominieren die chinesischen Hersteller DJI und Yuneec (Barfi 2017).

Die vergleichsweise liberale Gesetzgebung – beispielsweise kennt die Schweiz mit Ausnahme des Umfeldes von Flughäfen/-plätzen keine Begrenzung der Flughöhe von Drohnen – bildet einen guten Nährboden für die Entwicklung neuer Drohnentechnologien. Als Beispiele sind die Bewilligungen für die Drohnenversuche der Post in Lugano (Transport von Blutproben), für die Meteodrohnen von Meteoromatics (Einsätze bei Nacht) und für die BVLOS-Flüge für die eBee-Drohnen von SenseFly zu nennen. Dies zeigt sich auch in der Gründung zahlreicher Start-up-Unternehmen, die meisten davon aus dem Umfeld der beiden ETH in Lausanne und Zürich. Die Region um Lausanne ist auch bereits als Schweizer «drone valley» beschrieben worden (Lieberherr 2017). Aufgrund der liberalen Gesetzgebung operieren auch einige Start-ups aus den USA im Schweizer Markt. So führen Greensight Agronomics (www.GreenSightAg.com) und Neurala (www.neurala.com) mit einer «Sense and avoid»-Technologie mittels Kamera und neuronaler Netzwerktechnologie einige Projekte in der Schweiz durch.

Tabelle 4 zeigt eine Auswahl von Schweizer Firmen, die in der Entwicklung, Herstellung oder der Nutzung von Drohnen tätig sind, ohne Anspruch auf Vollständigkeit. In der Auflistung sind insbesondere Kleinst- und Einmannbetriebe nicht aufgeführt, wobei diese allerdings die grosse Masse der Drohnenfirmen in der Schweiz ausmachen. Nachfolgend wird hier lediglich eine Auswahl von Firmen kurz vorgestellt, die einen Einblick in die Breite des Drohnen-Business in der Schweiz geben soll.

Aeroscout GmbH: Das in Horw ansässige Unternehmen hat mit der Scout B1-100 und der etwas grösseren Scout B-330 zwei autonom fliegende Rotary-Wing-Drohnen entwickelt. Mit Zuladungen von rund 18 kg und 50 kg sind sie für diverse zivile Anwendungsbereiche nutzbar, wobei sich ihre Drohnen speziell für «Airborne Laser Scanning» (LIDAR) und «Hyperspectral Imaging» eignen und zum Beispiel für die Inspektion von Hochspannungsleitungen eingesetzt werden. Weitere Einsatzbereiche umfassen z.B. Luftbildaufnahmen, Fotogrammetrieanwendungen, Search and Rescue und der Einsatz zu wissenschaftlichen Zwecken. Für diese und spezifisch zugeschnittene Anwendungsbereiche bietet Aeroscout einen Dienstleistungsservice an.

Tabelle 4: Auswahl von Schweizer Unternehmen im Drohnenmarkt.

Firma	Internetadresse	Sektor
Aeroscout (Spin-off ETHZ)	<i>aeroscout.ch</i>	Drohnenhersteller und Dienstleister
Aerotain (Spin-off ETHZ)	<i>aerotain.com</i>	Dienstleister
Birdviewpicture	<i>birdviewpicture.ch</i>	Dienstleister (Beispiel für Anbieter von Luftaufnahmen)
Daedalean AG	<i>daedalean.ai</i>	Flugreglerentwickler
Fly & Film SA	<i>fly-and-film.com</i>	Dienstleister
Flyability SA (Spin-off EPFL)	<i>flyability.com</i>	Drohnenhersteller
Fotokite	<i>fotokite.com</i>	Drohnenhersteller
Meteomatics	<i>meteomatics.com</i>	Dienstleister
Omnisight	<i>omnisight.ch</i>	Hersteller Zubehör für microdrones® und Vertrieb
PMRobotics	<i>pmrobotics.ch</i>	Drohnenhersteller und Dienstleister
RUAG Aviation	<i>ruag.com</i>	Drohnenhersteller und Dienstleister (militärisch)
SenseFly SA (Spin-off EPFL)	<i>sensefly.ch</i>	Drohnenhersteller
Skysec GmbH	<i>skysec.ch</i>	Drohnenhersteller
Sulzer & Schmid Laboratories AG	<i>sulzer-schmid-labs.ch</i>	Dienstleister (Beispiel für Inspektionsanbieter)
SwissDrones	<i>swissdrones.ch</i>	Drohnenhersteller
UAVenture	<i>uaventure.com</i>	Flugregler- und Bodenstationhersteller
UMS Skeldar	<i>umsskeldar.aero</i>	Drohnenhersteller (militärisch und zivil)
Universal Dynamics	<i>universaldynamics.ch</i>	Drohnenhersteller
Verity Studios AG	<i>veritystudios.com</i>	Dienstleister
weControl (Spin-off ETHZ)	<i>wecontrol.ch</i>	Flugreglerhersteller
Wingtra AG (Spin-off ETHZ)	<i>wingtra.com</i>	Drohnenhersteller

Aerotain AG: Bei der Aerotain AG handelt es sich um ein in Zürich ansässiges Spin-off der ETH Zürich, welches mit dem «Skye» mit einem sicheren Produkt aufwartet. Sicher deshalb, da es sich dabei um einen mit Helium gefüllten Ballon handelt, welcher mit mehreren ummantelten Elektroantrieben gesteuert werden kann. Da der Auftrieb durch den Heliumballon generiert wird, und durch die eher langsame und stets antizipierbare Fortbewegung, erlaubt dies auch einen Betrieb über Menschenansammlungen mit geringem Risiko. Das Produkt eignet sich sehr gut für Anwendungen in Innenräumen und bei öffentlichen Anlässen wie z.B. Sportanlässe oder Messen, wobei die Sicherheit der anwesenden Personen und Gegenstände stets gewährleistet werden soll.

Aurora Swiss Aerospace: Die Aurora Swiss Aerospace ist eine Tochterunternehmung der Aurora Flight Sciences (USA) und auf die Entwicklung von Drohnen, deren Support und Operation spezialisiert. Aurora Swiss Aerospace ist ein Spezialist auf dem Gebiet des Leichtbaus und in der Strukturanalyse bei Spezialanwendungen, z.B. von solarbetriebenen Drohnen. Ausserdem wirkte Aurora Swiss Aerospace auch bei der Entwicklung des «Centaur OPA»-Drohne (Optionally Piloted Aircraft) und der «Orion MALE»-Drohne (Medium Altitude Long Endurance) mit. Aurora Flight Science wurde im Oktober 2017 von Boeing übernommen, was den Entwicklungen neuen Schub verleihen sollte.

Birdviewpicture GmbH: Birdviewpicture GmbH steht exemplarisch für die Dienstleistungsunternehmen, welche boden- und luftgestützte Film- und Fotoaufnahmen anbieten. Die seit 2014 im Handelsregister (SHAB 2014) eingetragene Firma zählt gemäss eigenen Angaben zu den Pionieren in ihrem Fach³³ und verfügt über ein grosses Arsenal an Drohnen und Filmkameras in diversen Grössen, um einen möglichst grossen Kundenkreis und verschiedene Anwendungsbereiche abdecken zu können. Das in Lufingen ZH ansässige Unternehmen durfte bislang auch komplette Filmproduktionen für Fernsehen, Tourismusagenturen, Architekten und weitere Firmen realisieren und gehört somit zu einem erfahrenen Anbieter in seinem Segment.

Daedalean AG: Daedalean AG ist ein Start-up mit Sitz in Zürich, welches zurzeit einen Autopiloten entwickelt, welcher mithilfe des Einsatzes von künstlicher Intelligenz die existierenden Prüfungen für menschliche Piloten bestehen soll. Dies ist

³³ Firmeneigene Informationen, nachzuschlagen unter <http://www.birdviewpicture.ch/imagefilm/> [Stand 12.09.2017].

insofern innovativ, da die Software wie der Mensch mit unerwarteten Situationen umgehen können soll, was momentan ein wichtiger Grund ist, weshalb der Pilot noch eine unverzichtbare Notwendigkeit in einem Cockpit ist. Das Start-up will 2017 einen Prototyp des Autopiloten präsentieren (Freigang & Burth 2016).

Fly & Film SA: In seinen Anfängen noch ein Unternehmen, das Luftbildaufnahmen erstellte, ist die in Siders VS ansässige Fly & Film SA heute ein Ausbildungsunternehmen, welches Drohnenpiloten an verschiedenen Standorten in der Schweiz, also in Siders, Sitten, Lausanne, Genf und Brugg, weiterbildet. Dabei liegt der Fokus auf dem sicheren Umgang mit dem Flugobjekt und dem legalen Aspekt der Drohnenoperation in der Schweiz. In einem fünftägigen Kurs werden diese Grundlagen vermittelt. Fly & Film versteht sich als professionelle Ausbildungsinstitution und legt Wert auf eine klare Abgrenzung von professionellem Einsatz von Drohnen und dem Gebrauch einer Drohne als Spielzeug.³⁴

Flyability SA: Bei der Flyability SA handelt es sich um ein in Lausanne heimisches Spin-off der EPFL mit einem einzigartigen Drohnenprodukt in ihrem Portfolio.³⁵ Die Drohne Elios zeichnet sich durch ihre kollisionsstoleranten Eigenschaften aus und ist damit eine ideale Plattform für den Einsatz in Innenräumen, in engen Verhältnissen mit Hindernissen oder sensiblen Gegenständen. Die Drohne ist mit ihrer Fähigkeit, nach Kollisionen mit Hindernissen sich sofort wieder zu stabilisieren, einzigartig. Ihre eingebauten Kameras machen es möglich, verschiedenste zum Teil unzugängliche Objekte aus sicherer Entfernung zu inspizieren, wo andere Drohnensysteme nicht zum Einsatz kommen können.

Fotokite: Fotokite ist eine eingetragene Marke von Perspective Robotics AG, einem in Zürich eingetragenen Unternehmen. Unter dem Namen Fotokite werden Drohnen vertrieben, welche eine Leine als Alleinstellungsmerkmal aufweisen. Durch die Leine besteht stets ein Kontakt zwischen Operator und Drohne, was die Bedienung einerseits erleichtert, andererseits entfällt mit der abwesenden Funkverbindung eine Fehlerquelle. Fotokite hat mittlerweile zwei leichte Multikopterdrohnen im Portfolio: die Fotokite Pro und die Fotokite Phi. Beide können mit einer

³⁴ Firmeneigene Informationen, nachzuschlagen unter <https://fly-and-film.com/de/> [Stand 12.09.2017].

³⁵ Firmeneigene Informationen, nachzuschlagen unter <http://www.flyability.com/elios/> [Stand 12.09.2017].

GoPro ausgerüstet werden und so für Luftbildaufnahmen verwendet werden. Während die Fotokite Pro auf professionelle Anwendung zielt, ist die Fotokite Phi aus flexiblen Materialien und in kompakter Bauweise gefertigt, was ihr gepaart mit ihrer kinderleichten Bedienung das Potenzial zum Massenprodukt gibt.

Meteomatics: Die Meteomatics AG aus St. Gallen ist ein auf meteorologische Softwareprodukte spezialisiertes Unternehmen. Ihre Kompetenzen decken die komplette Prozesskette eines Wetterdienstleisters ab.³⁶ Die Meteomatics AG bietet spezifisch auf Kundenwunsch abgestimmte Produkte, zu deren Erstellung unter anderem auch Drohnen für die meteorologische Vermessung der unteren Atmosphärenschichten herbeigezogen werden. Zu diesem Zweck verfügt das Unternehmen über Drohnen in unterschiedlichen Grössen, die mit umfangreicher Sensorik ausgestattet sind. Meteomatics ist die erste Schweizer Firma, welche vom Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL die Bewilligung für die Durchführung von BVLOS-Missionen erhalten hat (Meteomatics 2015). Somit kann Meteomatics auch bei Nebel und in Wolken ihre Messungen durchführen. Ein Faktor für die Zulassung ist das Rettungssystem, womit die für BVLOS-bewilligten Drohnen von Meteomatics ausgerüstet sind. Im Notfall kann ein Rettungsfallschirm ausgelöst werden, wodurch die Drohne wieder zu Boden gebracht werden kann.

PMRobotics GmbH: PMRobotics GmbH ist eine in Turbenthal ZH heimische Firma, die sich auf die Entwicklung und den Betrieb von unbemannten Drohnensystemen spezialisiert hat. Zu ihren Spezialitäten gehören hauptsächlich Zielerstellungsdrohnen und deren Bereitstellung für den Kunden. Andere Einsatzbereiche wie Messflüge, Geovermessungen, Luftaufnahmen und weitere werden auch abgedeckt und für Kunden werden spezifische Lösungen entwickelt. Die PMRobotics hat zwei unterschiedlich grosse Drohnen im Portfolio, welche beide für «Air Defense Training» verwendet werden können. Um das Angebot zu vervollständigen, bietet PMRobotics entsprechende Bodenstationen und firmenintern entwickelte Autopiloten zu ihren Drohnen an.

RUAG: Die RUAG, speziell die RUAG Aviation Division, ist primär im militärischen Drohngewerbe involviert. Die RUAG Aviation ist mit einem Nettoumsatz von 469 Mio. Franken in 2016 (RUAG 2017) ein wichtiger Teil der Schweizer Rüstungs-

³⁶ Firmeneigene Informationen, nachzuschlagen unter <https://www.meteomatics.com/display/UNTERNEHMEN/Unternehmen> [Stand 12.09.2016].

dustrie. Von der RUAG Aviation stammt z.B. das Drohnensystem ADS-95, welches zurzeit bei der Schweizer Luftwaffe im Einsatz steht. Unter anderem ermöglicht das ADS-95 die Erledigung von Aufgaben im Grenz- und Konferenzschutz, die unmittelbare Nachrichtenbeschaffung zu jeder Tageszeit und die Unterstützung im Katastrophenschutz. Komplementär zum ADS-95 ist das System OPATS (Object Position and Tracking System) entwickelt worden. Das OPATS ist ein automatisches Landesystem, welches eine Drohne im Endanflug und bei der Landung mit genauen Positionsdaten versorgt und eine präzise Landung ermöglicht (RUAG 2016). Das OPATS ist heute bei diversen Kunden mit verschiedenen Drohnen im Einsatz.

SenseFly SA: SenseFly SA ist ein Spin-off der EPFL und seit 2012 Teil der französischen Parrot Group. SenseFly ist mit seinem Produktportfolio der erfolgreichste Schweizer Drohnenhersteller. SenseFly stellt Drohnen her, welche primär für Vermessungsflüge, Luftaufnahmen und Fotogrammetrieanwendungen verwendet werden. So können zum Beispiel mit einem einzigen Flug einer eBee Plus während einer Stunde bis zu 40 km² vermessen werden. Die Drohnen zeichnen sich dadurch aus, dass sie klein und handlich sind und dass der Betrieb auch durch ungeübte Piloten durchgeführt werden kann. SenseFly erhielt 2017 durch das BAZL eine Bewilligung für BVLOS-Missionen, die jederzeit, allerdings unter Einhaltung bestimmter Auflagen, durchgeführt werden können (senseFly 2017).

Skysec GmbH: Bei der Skysec GmbH handelt es sich um eine in Turbenthal ZH ansässige Firma, welche sich auf propellergetriebene, raketenförmige Drohnen für die Drohnenabwehr spezialisiert hat. Skysec ist die zweite Firma, die durch die verantwortlichen Personen von PMRobotics gegründet wurde. Skysecs CDS-LR Sentinel und die sich in Entwicklung befindliche CDS-SR Peregrine sind so konzipiert, dass sie nach einem Detektieren einer Drohne starten und danach autonom zur eindringenden Drohne fliegen und diese mit einem Netz einfangen. Bei erfolgreicher Erfassung der Drohne gleiten die beiden Drohnen mit einem Fallschirm zu Boden. Mögliche Einsatzgebiete könnten Gebiete um Flughäfen, Gefängnisse oder andere schützenswerte Infrastruktur sein.

Sulzer & Schmid Laboratories AG: Dieses Unternehmen bietet ihren Kunden einen umfassenden Service in Bezug auf Inspektionsarbeiten mithilfe von unbemannten Luftfahrzeugen. Stationiert in Oetwil am See ZH, entwickelt das Unternehmen auch eigene Software, welche für das Planen von Missionen, Navigation,

Datenerhebung und deren Analyse eingesetzt werden kann. Sulzer & Schmid Laboratories bietet ihren Service zurzeit hauptsächlich für die Inspektion von Windturbinen an.

SwissDrones Operating AG: Die in Sevelen SG ansässige SwissDrones AG ist auf die Entwicklung und Produktion von unbemannten Helikoptersystemen spezialisiert. Mit dem SDO 50V2 hat die Unternehmung eine Helikopterdrohne im Angebot, welche mit einem maximalen Startgewicht von 86 kg und einer maximalen Zuladung von 50 kg für diverse Einsatzzwecke gebraucht werden kann. So können z.B. mehrere Kameras, Messgeräte oder auch ein System zur luftgestützten Schädlingsbekämpfung in der Landwirtschaft montiert werden.

UAVenture AG: Bei der in Aarau AG ansässigen UAVenture AG handelt es sich um ein Unternehmen, welches sich auf die Entwicklung von Flugregelsystemen und Bodenstationen für Drohnen spezialisiert hat. Ihr «AirRails»-Flugregler wurde speziell für Hybrid-VTOL-Drohnen von kleiner bis hin zu mittlerer Grösse entwickelt. Der Regler ermöglicht in Verbindung mit einem Autopiloten eine komplett autonome Flugdurchführung. Zudem hat UAVenture auch eine auf Android basierte «Ground Control Station» im Portfolio, welche für kommerzielle Drohnenapplikationen ausgelegt ist.

Universal Dynamics: Bei Universal Dynamics handelt es sich um einen in Oensingen SO beheimateten Drohnenhersteller. Universal Dynamics hat 2017 mit der «Dynamic I» eine Fixed-Wing-Drohne vorgestellt, welche gemäss eigenen Angaben eine Nutzlast von 5 kg über eine Distanz von 200 bis 300 km transportieren kann und eine Einsatzzeit von bis zu drei Stunden erreichen kann.

UMS Skeldar AG: Die UMS Skeldar AG ist ein in Möhlin AG und Linköping (Schweden) ansässiges Joint Venture zwischen Saab und UMS AERO Group, wobei Letztere aus der in Baar ZG ansässigen und 2009 gegründeten Swiss UAV entstanden ist. UMS Skeldar hat zurzeit zwei Rotary-Wing-Drohnen und zwei Fixed-Wing-Drohnen-systeme in ihrem Portfolio, welche zwar hauptsächlich militärische Kunden ansprechen, aber durchaus auch für zivile Anwendungen geeignet sind. Speziell angepriesen wird der Einsatz der Helikopterdrohne von Schiffen aus zum Zweck von Search and Rescue, Antipiraterieeinsätzen, wissenschaftlichen Vermessungen und weitere. Neben den Drohnensystemen bietet UMS Skeldar auch dazugehörige Trainings für ihre Produkte an.

Verity Studios AG: Bei der Verity Studios AG handelt es sich um ein in Zürich ansässiges Spin-off der ETHZ, welches sich mit seinen fliegenden «Lampenschirmen» als Spezialist für Shows mit Drohnen hervorgetan hat. Mit ihrem «Synthetic Swarm»- und dem «Stage Flyers»-System, bestehend aus mehreren in Innenräumen autonom fliegenden Multikopterdrohnen, waren sie unter anderem bei einer Tournee von Metallica und bei Paramour, einer Broadwayshow des Cirques de Soleil, ein wichtiger Bestandteil. Verity Studios bietet als Dienstleistung die Verwendung ihrer Systeme zur Erstellung von Darbietungen an. Weiter bietet die Firma auch eine komplette Lösung, beginnend bei der Konzeptentwicklung bis hin zum Liveshow-Management, an.

Wingtra AG: Die Wingtra AG ist ein in Zürich beheimatetes Spin-off der ETHZ, welche mit dem WingtraOne ein senkrechtstartendes Drohnensystem anbietet. Der WingtraOne, speziell auf Fernerkundung und Vermessung ausgelegt, kann in einem Flug während 55 Minuten je nach Kamera zwischen 280 und 400 ha Land vermessen. Gepaart mit einer einfachen und benutzerfreundlichen Software und einer grossen Auswahl von verfügbaren Fotokameras und Sensoren ist das System besonders geeignet für Anwendungen im Vermessungswesen, der Landwirtschaft, Forstwirtschaft und die Überwachung von Infrastruktur. Durch die senkrechten Starts und mit LIDAR-Sensoren unterstützten Landungen kann der WingtraOne beinahe überall eingesetzt werden, da kein grosses Start- und Landefeld benötigt wird. Erst Anfang 2017 lanciert, verkündete Wingtra im August desselben Jahres internationale Vertriebspartnerschaften in China und den USA, Australien soll folgen (Wingtra 2017).

weControl SA: Auch weControl SA ist ein im Jahr 2000 gegründetes Spin-off der ETHZ und auf die Entwicklung von Flugreglern spezialisiert. Das in Courtelary BE ansässige Unternehmen bietet Flugregler für Rotary-Wing- und Fixed-Wing-Drohnen an, welche durch passende Software für Bodenstationen komplettiert werden. weControl konnte 2003 für das französische Militär ihre Flugregler für ein Drohnenprojekt liefern und so ihr Kompetenzfeld ausweiten.³⁷ weControl ist seit 2011 ein Teil der Airbus Defense & Space Gruppe.

³⁷ Firmeneigene Informationen, nachzuschlagen unter <http://www.wecontrol.ch/> [Stand 13.09.2017].

2.5.3 Abschätzung der zukünftigen Entwicklung

Es existieren diverse Studien, welche sich mit der zukünftigen Entwicklung der Drohnenindustrie befassen. Allerdings muss dabei beachtet werden, dass manche Studien etwas an Neutralität vermissen lassen und ein eventuelles Wachstumspotenzial etwas überbewerten. Entsprechend vernünftige Quellen wurden in den folgenden Studien gefunden: die im November 2016 veröffentlichte SESAR European Drones Outlook Study (SESAR 2016), den FAA Aerospace Forecast für 2017–2037 (FAA 2017), ein Ausblick der französischen DGAC von März 2015 (DGAC 2015) und eine Studie von PriceWaterhouseCooper vom Mai 2016 (PWC 2016). Auf diese Studien stützen sich die folgenden Abschnitte.

Den genannten Studien ist unisono zu entnehmen, dass die Drohnentechnologie ein grosses Potenzial hat. Mit der Ausnutzung der dritten Dimension und entsprechenden, immer besser werdenden Bildaufnahmetechnologien mit hochauflösenden Kameras oder Hyperspektralkameras erschliessen sich diverse neue Anwendungsfelder. Zu solchen sensorischen Fähigkeiten kommt die Fähigkeit, gewisse Güter oder sogar Personen zeitsparend transportieren zu können. Mögliche Anwendungsfelder wurden in Abschnitt 2.4 diskutiert. Grundsätzlich wird allerdings in den erwähnten Studien den folgenden Anwendungsbereichen das grösste Potenzial zugeschrieben:

- Landwirtschaft
- Inspektion von Infrastruktur
- Überwachungsaufgaben in behördlichem Rahmen
- Transport von Gütern oder Personen

Allerdings muss dabei beachtet werden, dass die Studien jeweils einen unterschiedlichen Zeitraum betrachten (SESAR: 2016–2050, FAA: 2017–2037, DGAC: 2015–2020, PWC: Marktpotenzial 2016), ausserdem erwähnen die Studien jeweils, dass ihre gewählten absoluten Zahlen mit grosser Vorsicht zu geniessen seien, was auf eine gewisse Unsicherheit hindeutet. Abbildung 7 fasst diese Schätzungen zusammen.

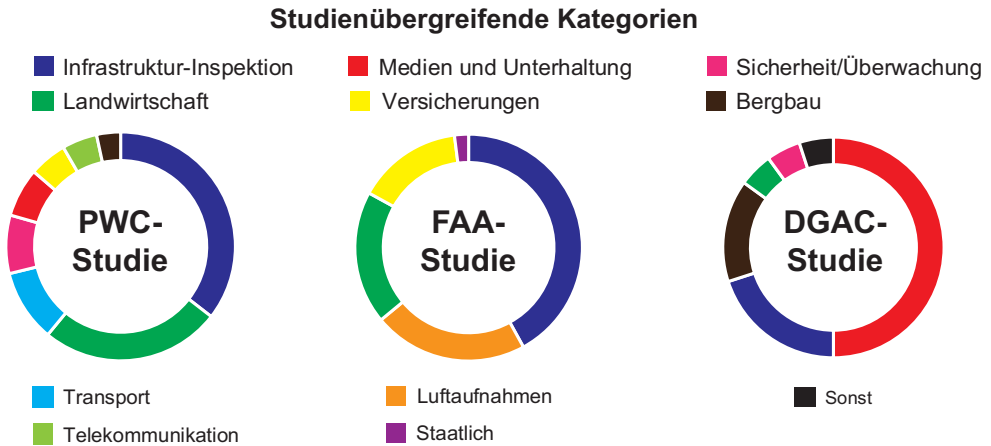


Abbildung 7: Umsatzschätzung des globalen Drohnenmarktes: PWC-Studie, FAA-Studie, DGAC-Studie.

Bereits heute werden Drohnen in Bezug auf Medien und Unterhaltung bzw. für Foto- und Filmaufnahmen schon rege genutzt. Die meisten Mitglieder des Schweizerischen Verbands Ziviler Drohnen (SVZD), die einen Service anbieten, sind in diesem Sektor tätig, wobei dies für die ausführenden Personen vorwiegend eine Nebentätigkeit darstellt.

Vereinzelt werden Drohnen heute in der Landwirtschaft oder der Inspektion und Überwachung von Infrastruktur eingesetzt. Im Bereich des Transports von kleinen, wertvollen und zeitkritischen Gütern wird viel investiert, auch die Schweizerische Post ist an einem Pilotprojekt beteiligt. Ebenso sind Google, Amazon, DHL und weitere stark in diesem Sektor engagiert. Der Personentransport mit Drohnen erzielt stets in den Medien ein grosses Echo. Diverse Start-ups (z.B. Volocopter, Ehang 184) oder auch etablierte Luftfahrtkonzerne (Airbus) wollen hier entsprechende Lösungen finden.

BVLOS (*beyond visual line of sight*) ist ein Schlüsselbegriff bezüglich möglicher Anwendungsbereiche von Drohnen. Gemäss der Studie der französischen DGAC wurden in 2014 insgesamt 64% der Flüge mit direktem Sichtkontakt zwischen Drohne und Operator, 36% der Drohnenflüge wurden ohne direkten Sichtkontakt (BVLOS) zwischen Drohne und Operator durchgeführt. Es gibt keine Indizien, dass diese Verteilung heute signifikant anders wäre. Gemäss den Studien liegt

das enorme Potenzial der Drohnentechnologie bei Anwendungen, welche auf Flüge ohne direkten Sichtkontakt zwischen Drohne und Operator (BVLOS) angewiesen sind. SESAR (2016) prognostiziert einen explosionsartigen Anstieg des Volumens der Drohnenindustrie zwischen 2025 und 2030, welcher allerdings eng an die für BVLOS-Operationen wichtige Entwicklung von ausfallsicheren «Detect and avoid»-Systemen, einem Unmanned Traffic Management (U-Space) und entsprechenden Zulassungsmöglichkeiten bei den Behörden gebunden ist. Im Zeitraum bis 2025 wird allerdings ein grosses Wachstum von BVLOS-Operationen vorhergesagt, allerdings erst in ländlichen, karg besiedelten Gebieten, weil da mit einer eventuell noch nicht vollständig ausgereiften und sicheren Technologie schon ein beträchtlicher Mehrwert erzielt werden kann.

Die chinesische DJI Technology Co. ist momentan unbestrittener Marktführer im Drohnenmarkt. Allerdings erwarten die Autoren dieser Studie, dass dieser Hobbydrohnenmarkt in den nächsten Jahren eine Sättigungsgrenze erreicht, weil einerseits die französische Parrot-Gruppe im Hobbydrohnensegment Arbeitsplätze abbauen musste (Parrot 2017b), andererseits DJI zurzeit massiv im Bereich der professionellen, kommerziellen Drohnen expandiert. Seit 2016 bietet DJI in China entsprechende Trainings und Consulting-Lösungen in Bereichen wie der Landwirtschaft, der Infrastrukturinspektion oder auch im Bauwesen an und bildet monatlich zwischen 500 und 600 Personen aus – es findet eine Transformation von Hobbypiloten zu professionellen Drohnenpiloten statt. Zudem unterstützt DJI auch Start-ups in China, welche Drohnensysteme in neuen Anwendungsfeldern integrieren möchten (Economist 2017). Überall, wo mit Kameras schnell Daten gewonnen werden können, können Drohnen ein schnelles und kostengünstiges Instrument sein.

Was aus heutiger Sicht schwierig einzuschätzen ist, ist die Akzeptanz von Drohnen in der Gesellschaft und der Politik. Im Diskurs mit herkömmlichen Piloten und deren Verbänden zeigt sich, dass eine gewisse kritische Haltung gegenüber der Drohnentechnologie besteht. Ein gravierender Unfall, ausgelöst durch eine Drohne, könnte von heute auf morgen das positive Klima, von welchem die heutigen Entwicklungen dieses Sektors noch geprägt sind, in einen starken Gegenwind verwandeln. Um diesen Punkt zu unterstreichen, sei erwähnt, dass eine Drohne ein wesentlich höheres Zerstörungspotenzial aufweist als ein Vogel mit vergleichbaren Abmessungen (siehe Abschnitt 2.6.1.1).

Bis heute existieren nur Studien über das Potenzial der gesamthaft betrachteten Drohnenindustrie. Es fehlen Studien, die aufzeigen, wie profitabel der Einsatz von Drohnen in einer bestimmten, isoliert betrachteten Anwendung ist. Grundsätzlich steht hier der enorme Zeitgewinn durch den Einsatz von Drohnen auf der einen Seite, allerdings steht dem die Verarbeitung der enormen Datenmenge gegenüber, was als Aufwand und Kostenfaktor nicht unterschätzt werden darf. In Bezug auf die Schweizer Industrie existiert hier vermutlich eine Chance, dieses Post-Processing von Daten als Service anzubieten. Die Herstellung von Drohnen ist bezüglich Kostenniveau in der Schweiz kaum lohnenswert (verglichen mit Tiefpreisländern wie China oder Indien). Die Entwicklung eines entsprechenden Service zur Auswertung dieser Datenmengen, unter Ausnutzung von Technologien der Digitalisierung, könnte aus der Sicht der Autoren dieser Studie ein grosses Potenzial für die Schweizer Wirtschaft darstellen.

2.6 Technische Sicherheit und Umweltschutz

Unbemannte Luftfahrzeuge, insbesondere Multikopter der Gewichtskategorie bis 30 Kilogramm, sollen vor allem im unteren Luftraum bis 150 Meter über Grund eingesetzt werden. In einem kleinflächigen, dicht besiedelten Land wie der Schweiz müssen dabei deshalb immer der Unfallschutz unbeteiligter Passanten und Umweltaspekte berücksichtigt werden.

2.6.1 Technische Sicherheit

Ein nicht zu unterschätzendes Risiko bilden Unfälle, die durch Drohnen verursacht werden. Das betrifft einerseits den Absturz von Drohnen, andererseits auch Kollisionen mit anderen Luftraumteilnehmern. Mit der zunehmenden Verbreitung von Drohnen stellen diese auch in Zusammenhang mit Einsätzen von Rettungskräften eine grosse Gefahr dar, wenn z.B. in einem Krisengebiet Rettungshelikopter oder Löschflugzeuge behindert werden. Im Folgenden wird auf die Risiken für andere Luftraumteilnehmer sowie das generelle Absturzrisiko von Drohnen eingegangen.

Wir halten hier zudem fest, dass auch im Bereich Drohnen der Cybersecurity Beachtung geschenkt werden muss. Wie jedes IT-System, können auch Drohnen

«gehackt» werden, wenn keine entsprechenden Sicherheitsmassnahmen wie z.B. verschlüsselte Verbindungen getroffen werden. Hierbei handelt es sich allerdings um ein allgemeines Problem der Informationsgesellschaft, das bei Drohnen keine gesonderten Anforderungen stellt. Aus diesem Grund wurde der Aspekt Cybersecurity hier nicht detailliert untersucht.

2.6.1.1 Risiken für andere Luftraumteilnehmer

In den letzten Jahren gab es regelmässige Berichte von Beinahekollisionen von Flugzeugen mit Drohnen. Das Risiko einer Kollision ganz zu eliminieren, wird wohl sehr schwierig sein, in der Luftfahrt kann die absolute Sicherheit kaum erreicht werden. Um die Wahrscheinlichkeit einer Kollision einer Drohne mit einem anderen Luftraumteilnehmer, sei es ein Airliner, ein Motorflugzeug oder auch ein Gleitschirm, zu verringern, sind Technologien wie ein «Detect and avoid»-System oder ein Unmanned Traffic Management (U-Space) nötig. Diese befinden sich allerdings, wie in Abschnitt 2.2.4 erwähnt, teilweise erst in einem Entwicklungsstadium. Für einen Piloten eines Flugzeugs ist die Erkennung einer Drohne aus dem Cockpit auch mit Kenntnis der Position der Drohne enorm schwierig. Kontrollierte Versuche (Remote Vision 2016) zwischen einer Drohne und einem Motorflugzeug, wobei verschiedene Annäherungsszenarien getestet wurden und der Pilot stets Kenntnis über die Position der Drohne hatte, haben gezeigt, dass bei einer optischen Identifizierung einer Drohne meist nur knapp vier Sekunden für ein Ausweichmanöver übrig bleiben. Vor diesem Hintergrund kann gesagt werden, dass ein Flugzeugpilot eine Drohne in der Regel nicht erkennen kann und die Verantwortung für ein Ausweichmanöver beim Drohnenpiloten liegen muss. Dies unterstreicht wieder die Notwendigkeit, ein entsprechendes System für *detect and avoid* einzuführen, um die momentane Situation zu entschärfen.

Kollisionen von bemannten Luftfahrzeugen und Drohnen sind insofern heikel, weil Erstere entsprechend den heute geltenden Zertifizierungsgrundlagen nur in Hinblick auf Kollisionen mit Vögel entsprechende Vorschriften erfüllen müssen. Allerdings ist eine Kollision eines Luftfahrzeugs mit einer Drohne und einem Vogel, auch wenn sie ein ähnliches Gewicht aufweisen würden, nicht vergleichbar (Hambling 2016). Eine Drohne besteht grundsätzlich aus festen Materialien (Metalle, Kunststoffe oder Faserverbundwerkstoffe), welche im Fall eines Einsaugens in ein Triebwerk oder beim Einschlagen in eine Cockpitscheibe einen weitaus verheerenderen Schaden anrichten können (bis hin zur vollständigen Zerstörung des

Triebwerks oder Tötung des Piloten) als ein Vogel, welcher sich im Vergleich zu einer Drohne bei einem Aufprall eher wie eine sehr dichte Flüssigkeit verhält. Diese Tatsache des grösseren Zerstörungspotenzials macht deutlich, dass Technologien zur Vermeidung solcher Kollisionen für eine Integration von Drohnen in einen Luftraum von grosser Bedeutung sind.

2.6.1.2 Ausfall- und Unfallrisiken

Beim Einsatz von Drohnen muss die Sicherheit von Passanten sowie Haus- und Wildtieren gewährleistet sein. Zu Unfällen kann es zum einen dann kommen, wenn die Drohne Personen oder Tiere überfliegt und in diesem Moment unkontrolliert abstürzt, zum anderen kann es aber auch zu Unfällen in der Start- oder Landezone kommen, wenn diese nicht vor einem unbefugten Zutritt gesichert ist. Dies ist insbesondere bei der geplanten Paketzustellung an private Lieferadressen eine Herausforderung.

Die VirginiaTech University in den USA und die DEKRA in Deutschland haben das Verletzungsrisiko durch Multikopter mit Crashtest-Dummies in Experimenten untersucht. Beide Studien kommen zum Schluss, dass ein ausser Kontrolle geratener Multikopter ein erhebliches Verletzungsrisiko darstellen kann (DEKRA 2017).

Um beim Absturz einer Drohne die Verletzungsgefahr von Personen auf dem Boden zu minimieren, sollte das Fluggerät idealerweise mit einem Rettungssystem ausgestattet sein. Immer geht es in einem solchen Fall darum, die Drohne mit möglichst geringer Geschwindigkeit zu Boden gehen zu lassen. Das kann mit einem Fallschirm erreicht werden, der im Notfall ausgelöst wird und an dem das Fluggerät zu Boden schwebt. Alternativ können Redundanzsysteme für den Ausfall einzelner Rotoren entwickelt werden. Für Multikopter hat die ETH Zürich einen Algorithmus entwickelt, der die Drohne selbst beim Ausfall mehrerer Motoren stabilisiert und so einen kontrollierten Absturz ermöglicht (Müller & D'Andrea 2014). Der Algorithmus ist patentiert und wird über eine Spin-off-Firma der ETH kommerziell angeboten.

Trotz des obligatorischen Meldewesens (EU-Verordnung 376/2014) ist die Anzahl Abstürze von Drohnen nahezu unbekannt beziehungsweise ist die Dunkelziffer enorm gross. Einzig in Bezug auf die militärische Verwendung von Drohnen sind

ansatzweise Zahlen bekannt, weil in diesem Sektor bisher die meisten Flugstunden mit Drohnen generiert worden sind. Anlässlich einer ASIP-Konferenz (Aircraft Structural Integrity Program) im Jahr 2011 haben 20 Experten aus den USA Vergleichsdaten zu sogenannten «Mishaps» (Anzahl verlorene Flugzeuge oder Drohnen pro 100'000 Flugstunden) gesammelt (Tabelle 5) (Saff & Mennle 2011).

Tabelle 5: Vergleich der Ausfälle («Mishaps») von Drohnen und Flugzeugen pro 100'000 Flugstunden (Saff & Mennle 2011).

UAV-Ausfälle	Flugzeugausfälle
Predator-Drohne: 32	F-16-Kampfflugzeug: 3
Pioneer-Drohne: 334	General Aviation ³⁸ : 1
Hunter-Drohne: 55	Regionalflugzeug: 0.1
	Grossraumflugzeug: 0.01

Da Drohnen noch wesentlich weniger als 100'000 Flugstunden erreicht haben, wurden die vorhandenen Unfallzahlen entsprechend skaliert, um Vergleiche anstellen zu können. Hier zeigte sich, dass die Ausfallraten bei Drohnen mehrere Grössenordnungen über jenen von bemannten Flugzeugen lagen. Die Anforderungen an die Ausfallwahrscheinlichkeit (Verlust des Flugzeuges) sind in der zivilen, kommerziellen Luftfahrt mit einem Verlust pro Milliarde Flugstunden und in der bemannten militärischen Luftfahrt mit ungefähr einem Verlust pro 10 Millionen Flugstunden (je nach Land etwas unterschiedliche Anforderungen) auch sehr hoch.

Untersuchungen bezüglich der Ursache dieser UAV-«Mishaps» wurden ebenfalls zusammengetragen (Tabelle 6). Diese Werte können zwar kaum eins zu eins auf zivile Drohnen übertragen werden. Dennoch kann man davon ausgehen, dass vorwiegend Antrieb, Systemfehler (Kontrolle und Kommunikation) sowie *Human Factors* zu einem Verlust einer Drohne führen. Mit verbesserten Mensch-Maschine-Schnittstellen sowie Weiterentwicklung der Ausbildung und des Trainings kann wohl die Fehlerrate des Menschen verbessert werden.

³⁸ General Aviation umfasst die zivile Luftfahrt ohne Linien- und Charterverkehr, also bestimmte gewerbliche und private Flüge mit Leicht- und Geschäftsflugzeugen und Helikoptern.

Bezüglich Strukturfestigkeit dürften Witterungseinflüsse wie Regen, Schnee, Eis, Feuchtigkeit, extreme Temperaturen, starke Winde sowie Turbulenzen die grössten Herausforderungen darstellen. Solche Aspekte müssen bei einer Risiko-Safety-Analyse berücksichtigt werden. Da Drohnen in tiefen atmosphärischen Schichten betrieben werden, dürfte das Problem der Vereisung eine besondere Herausforderung darstellen. Sollten dereinst Drohnen in rauen Wetterbedingungen eingesetzt werden, ist ein beträchtlicher Aufwand zu leisten, z.B. in Bezug auf die Einführung von Redundanzen für die elektrische Versorgung und Navigation, die elektromagnetische Verträglichkeit und generell die Widerstandsfähigkeit gegen natürliche Einflussfaktoren wie Wasser oder Blitzeinschläge.

Um in Bezug auf die strukturelle Festigkeit einer Drohne wie in der bemannten Fliegerei gewisse Zertifizierungsgrundlagen zu haben, wird versucht, Drohnen anhand ihrer Masse und Geschwindigkeit, also ihrer kinetischen Energie im Betrieb, in sinnvolle Kategorien einzuteilen und jeweilige Zulassungsbedingungen aufzustellen. Dabei sollen Drohnen mit dem grössten Energiegehalt entsprechend nationaler und internationaler Standards und Vorschriften, wie sie in der bemannten Luftfahrt gelten, zugelassen werden. Drohnen mit mittlerem Energiegehalt könnten gemäss Standards zugelassen werden, wie sie national und international für Leichtflugzeuge gelten. Die energiemässig kleinste Kategorie könnte lediglich mittels ausgewiesenen Strukturanalysen und Flugversuchsmethoden zugelassen werden (Saff & Mennle 2011). Vor allem in diese letzte Kategorie würden die heute im zivilen Rahmen verbreiteten Drohnen fallen. Der Verzicht auf rigorose Zulassungsbedingungen für diese letzte Kategorie ist insofern auch sinnvoll, da so die Entwicklung neuer Drohnen nicht unnötigerweise durch komplizierte Regelwerke behindert wird.

Tabelle 6: Gründe für Ausfälle von Drohnen (Saff & Mennle 2011).

Gründe für UAV-Ausfälle	Prozent
Antrieb/Energie	37
Flugkontrolle	25
Menschliche Fehler	17
Kommunikation	11
Sonstige	10
Strukturbedingt	< 2

Obwohl die oben dargestellte Sichtweise stark von der militärischen Seite geprägt ist, lassen sich Aussagen zu Zahlen und mögliche Einteilungen trotzdem auf den zivilen Drohnensektor übertragen. Das Fördern von Nachweisen bezüglich Festigkeit, Lebensdauer und Systemzuverlässigkeit ist für Drohnen, die täglich mehrere Stunden im Einsatz sind, für einen zukünftigen sicheren Betrieb nötig. Redundante Systeme müssen eingeführt werden; in der klassischen Luftfahrt wird bei kritischen Komponenten mindestens eine dreifache Redundanz gefordert. Dazu muss ein Wartungskonzept verfügbar sein, inklusive Inspektionen und Betriebslimiten für entsprechende Komponenten. Für gewerbliche Drohnen könnten alternativ globale Grenzwerte festgelegt werden, z.B. ein Betrieb mit einer Einschränkung auf eine zu definierende Anzahl Flugstunden oder Lebensdauer ab dem ersten Einsatz. Solche Voraussetzungen müssen in einem international anerkannten Regelwerk festgehalten werden, woran sich Hersteller und Betreiber von Drohnen halten sollten. In der bemannten Luftfahrt konnte durch das Einführen von Zertifizierungsgrundlagen die technische Sicherheit enorm verbessert werden. Es liegt nahe, diesen Weg auch in Bezug auf Drohnen zu gehen, wenn auch erst ab einer gewissen Grösse und einem gewissen Zerstörungspotenzial einer Drohne.

2.6.1.3 Zwischenfazit

Selbst vergleichsweise kleine Drohnen können unter Umständen ein erhebliches Risiko für andere Luftraumteilnehmer sein, etwa wenn eine Drohne in ein Triebwerk gerät. Deshalb ist es von grosser Wichtigkeit, dass entsprechende Technologien, die solche Kollisionen zu vermeiden helfen, vorangetrieben werden. Bezüglich des Beherrschens von Ausfall- und Unfallrisiken dürfte eine Professionalisierung der Nutzung von Drohnen erhebliche, derzeit noch kaum bezifferbare Investitionen technischer und regulatorischer Art benötigen. Zu erwarten sind dadurch jedoch eine gesteigerte technische Zuverlässigkeit bei Operationen und damit verbunden sinkende Unfallzahlen.

2.6.2 Umweltschutz

Bezüglich Umweltschutz sind vor allem zwei Risiken von Drohnen relevant: die mögliche Lärmbelastung³⁹ sowie die Schreckwirkung für Vögel und andere Tier-

³⁹ Unter dem Begriff «Lärm» wird nachfolgend ausschliesslich die Wirkung auf Menschen subsumiert; Geräuschemissionen mit Auswirkungen auf die Tierwelt werden im Abschnitt 2.6.2.2 diskutiert.

arten. Aber auch direkte Verletzungsrisiken für Vögel können eine Rolle spielen; beispielsweise sind Einzelfälle bekannt, bei denen Greifvögel Drohnen angreifen. Studien zu dieser spezifischen Problematik wurden aber keine identifiziert.

2.6.2.1 Lärmbelastung

Fluggeräte, die ihren Auftrieb durch Rotoren erzeugen (Helikopter, Multikopter), generieren Rotorschall. Je nach der Geräuschkulisse der Umgebung kann dieser als Lärm wahrgenommen werden. Während der Rotorschall eines Multikopters über einer vielbefahrenen Strasse wahrscheinlich im Verkehrslärm untergeht, ist ein solches Fluggerät in ruhiger Umgebung, z.B. in der Natur, auf mindestens 100 Meter deutlich hörbar.

Einige Schweizer Bürgerinnen und Bürger haben diese Erfahrung bereits bei nächtlichen Drohneneinsätzen der Armee machen müssen. Es gibt mehrere Medienberichte, die Beschwerden über Ruhestörungen aufgrund von Drohneneinsätzen aus verschiedenen Regionen dokumentieren (Stampfli 2015; 20 Minuten 2016; Schmidli & Rensch 2017). Über die Lärmbelästigung durch kleinere und elektrisch betriebene zivile Drohnen gibt es noch keine Dokumentationen, gelegentlich wird das Thema Lärm allerdings in Medienberichten angeschnitten. Jedoch sind gerade die elektrischen Motoren von zivilen Drohnen deutlich leiser als etwa Hubschrauber oder die Drohnen der Schweizer Armee. Die tatsächliche Lärmbelästigung wird jedoch durch weitere Faktoren wie die Windrichtung und -stärke oder auch die Luftfeuchtigkeit stark beeinflusst.

Die Wahrnehmung von Lärm hängt zudem in hohem Masse von der Art des Tons, der Gewöhnung daran und der Dauer ab. Wissenschaftler der NASA haben in einer Studie zur Psychoakustik von Drohneneinsätzen zeigen können, dass die Geräusche von Drohnen im Vergleich zu anderen Vehikeln wie Pkws oder Lkws als deutlich unangenehmer empfunden werden (Christian & Cabell 2017). Interessanterweise scheint auch eine grössere Flughöhe, d.h. ein geringerer Dezibelwert, keinen Einfluss auf die wahrgenommene Lärmbelästigung zu haben. Die Autoren formulieren deshalb die vorläufige These, dass die Geräusche von Drohnen und die von Pkws oder Lkws qualitativ unterschiedlich wahrgenommen werden. Diese Wahrnehmung könnte jedoch auch durch die alltägliche Gewöhnung an Kfz-

Geräusche verzerrt werden. Weitere Studien zur Lärmbelastung durch Drohnen, die die ersten Ergebnisse der NASA-Studie bestätigen, gibt es noch nicht.⁴⁰

Trotz dieser Forschungsergebnisse gibt es bislang also nur eine begrenzte Problemwahrnehmung. Dies könnte sich jedoch perspektivisch verändern: Zu einer signifikanten Lärmquelle werden Drohnen vor allem dann, wenn sie in Zukunft in grosser Zahl eingesetzt werden sollten. Demgegenüber besteht allerdings die Möglichkeit, dass weitere technologische Verbesserungen auch zu einer Reduktion der Lärmbelastung beitragen können, wie dies auch bei anderen Luftfahrzeugen geschehen ist (Barnstorff 2015).

2.6.2.2 Störung von und Stressquelle für Tiere

Es gibt reichlich Forschung über die Auswirkungen von menschlichen Störungen auf Wildtiere. Tierische Reaktionen auf Wanderer, Fahrzeuge oder bemannte Luftfahrzeuge wie Hubschrauber und Segelflugzeuge sind gut untersucht und belegen unterschiedlichste Auswirkungen auf Wildtiere wie punktuelle Verhaltensveränderungen, Veränderungen der reproduktiven Fitness oder Vermeidung bestimmter Gebiete. Bezüglich der Auswirkungen von Drohnen liegen derzeit aber erst verhältnismässig wenige Studien vor (siehe Fussnote 40), um gesicherte Antworten auf Fragen zu erhalten wie: Wie wirkt sich die Präsenz von Drohnen auf Wildtiere aus? Welche Faktoren (z.B. betroffene Tierarten, Gruppengrösse, Grösse der Drohne, Flugtyp, Lärmemission, Lebensraumtypen etc.) bestimmen massgeblich die Auswirkung der Drohne auf Wildtiere? Gibt es eine Gewöhnung der Tiere an Drohnen und wenn ja, handelt es sich um eine teilweise oder um eine vollständige Gewöhnung; ist sie abhängig von den betroffenen Tierarten? Antworten auf diese Fragen sind nicht zuletzt deshalb wichtig, weil Drohnen zunehmend auch in der ökologischen Forschung genutzt werden, z.B. für die Zählung von Wildtieren (siehe dazu Abschnitt 2.4.2.4).

Die bislang wohl umfangreichste Studie zu diesen Fragen ist die Metaanalyse von Mulero-Pazmany et al. (2017), die 36 Studien aus dem Zeitraum von 1988 bis 2015 ausgewertet haben, in denen sich Informationen zu den Auswirkungen von Drohnen und Modellflugzeugen auf Wildtiere (einschliesslich Fischen, Meeressäu-

⁴⁰ Recherche in der Forschungsdatenbank Scopus/ScienceDirect mit den Stichworten «drone* AND noise» und «drone* AND buzz».

gern, terrestrischen Säugetieren und Vögeln) finden liessen.⁴¹ Dazu kamen die Daten von insgesamt 17 unpublizierten Feldversuchen, welche vom Studienteam im Zeitraum von 2009 bis 2015 durchgeführt wurden. Die Metaanalyse untersuchte verschiedene Faktoren, welche die Wahrscheinlichkeit und die Stärke einer Reaktion bei Wildtieren in Abhängigkeit von Flughöhe oder Abstand (je nach Datenlage) beeinflussen könnten.⁴² Dabei ergab sich generell, dass ein direktes Anfliegen deutlich häufigere und auch stärkere Reaktionen bei Wildtieren auslösten als das regelmässige Abfliegen eines Gebiets (z.B. für ein Monitoring); zufällige Flugbewegungen (Flugmuster «Hobby») unterschieden sich nicht signifikant von den beiden anderen Flugmustern. Brennstoffbetriebene Fluggeräte führen häufiger zu Reaktionen und zu stärkeren Reaktionen als elektrische – vermutlich aufgrund des grösseren Lärms. Bezüglich der Tierklassen zeigt sich, dass Vögel auf Drohnenflüge empfindlicher reagieren als terrestrische Säugetiere; aquatische Wirbeltiere (Fische und Meeressäuger) sind am wenigsten empfindlich.

Untersucht man schliesslich nur die Fälle, in denen eine Flucht- oder Angriffsreaktion ersichtlich war (in der Regel betraf dies Vögel), so konnten die Autoren der Studie auch eine Abschätzung der Distanz zwischen Fluggerät und Tieren vornehmen, bei denen eine erste Reaktion auftrat. In allen drei Flugmustern zeigte sich, dass nicht brütende Tiere bereits bei grösseren Distanzen eine sichtbare Reaktion zeigten.⁴³ Beim Flugmuster «Hobby» zeigten sich zudem signifikante Unterschiede zwischen den Trupp- bzw. Schwarmgrössen, wobei in diesem Fall nur Studien über brennstoffgetriebene Modellflugzeuge (also «fixed-wing»-Drohnen) ausgewertet wurden. Mittlere bis grössere Gruppen von Tieren reagierten bereits bei einem Drohnenabstand von rund 100–700 m, kleinere Gruppen bei einem Abstand von rund 100–450 m und Einzeltiere grösstenteils erst unterhalb 200 m. Inwieweit diese Ergebnisse auf elektrisch angetriebene Multikopter übertragbar sind, lassen die Autoren der Studie auf Anfrage offen, weil die Lärmemissionen geringer

⁴¹ Bei 26 Studien lag der Fokus auf der Nutzung von UAVs für Zwecke wie Wildtier-Monitoring und dergleichen, 10 weitere Studien untersuchten direkt die Auswirkungen von UAV auf Wildtiere (6 davon betrafen Modellflugzeuge).

⁴² Untersucht wurden folgende Faktoren: Art der Flugmanöver (direktes Anfliegen der Tiere, Überwachung eines Areals, Flugmanöver ohne Fokus auf Wildtiere), Art des Antriebs (elektrisch, brennstoffbetrieben), Grösse des UAV, Klassen von Tieren (grosse Vögel, kleine Vögel, flugunfähige Vögel, Landsäuger, unter Wasser lebende Tierarten), Gruppengrösse und bei Vögeln, ob diese brüteten oder nicht.

⁴³ Der Grund dafür ist, dass ein brütender Vogel generell länger sitzen bleibt, wenn mögliche Gefahren auftauchen. Er verlässt sich auf seine Tarnung, anstatt zu fliehen und dadurch möglicherweise den Neststandort zu verraten.

und die Flugmuster anders sind. Forschungsbedarf bestehe gemäss den Autoren insbesondere zur Frage, inwieweit die beobachteten Verhaltensveränderungen langfristig negative Effekte auf die Vögel hätten, z.B. ein verminderter Bruterfolg. In der Studie halten die Autoren denn auch fest, dass mehr Forschung nötig ist, um die Auswirkungen der heute gebräuchlichen Drohnen auf Wildtiere, insbesondere Vögel, besser verstehen zu können.

Eine Schweizer Literaturstudie aus dem Jahre 2002 untersuchte im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (heute BAFU) die Auswirkungen von Modellflugzeugen auf Wildtiere und kam zu ähnlichen Ergebnissen (Komenda & Bruderer 2002). Aufgrund der Grösse und Wendigkeit würden Modellflugzeuge am nächsten an Greifvögel herankommen und damit am besten dem angeborenen Feindschema der Vögel entsprechen. Die damit verbundenen Fluchtdistanzen verschiedener Vogelarten liegen im Bereich von 200–400 m, maximal 600 m. Basierend auf diesen Ergebnissen haben das BAZL, das BAFU und die Vogelwarte Sempach bereits im Jahr 2005 empfohlen, Überflüge unter 300 m mit Fluggeräten über empfindliche Gebiete (insbesondere Schutzgebiete) einschliesslich einer Pufferzone von 500 m Radius ab Reservatsgrenze zu vermeiden (Bruderer und Komenda 2005).

Zu den langfristigen Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Drohnen in Gebieten mit Wildtieren ist noch kaum etwas bekannt, wie auch Mulero-Pazmany et al. (2017) festhalten. Es gibt aber verschiedene Beispiele, dass Stress bei Vögeln trotz fehlender unmittelbarer Fluchtreaktion auftreten kann (Weston et al. 2012; Ellenberg et al. 2013). Eine Studie der University of Minnesota, St. Paul, zeigte, dass Bären bei der Annäherung von Drohnen zwar ihr Verhalten nicht oder nur wenig ändern, jedoch signifikante physiologische Reaktionen (deutliche Erhöhung der Herzfrequenz und andere Stresssymptome) aufweisen. Die Autoren der Studie kommen deshalb zu dem Schluss, dass Drohnen einen neuartigen Stressfaktor für Wildtiere darstellen können (Ditmer et al. 2015).

Für die wissenschaftliche Nutzung von Drohnen in Gebieten mit Wildtieren (z.B. für Wildtier-Monitoring) kann dieser mögliche Stressfaktor mittels geeigneter Massnahmen, die z.B. auch Mulero-Pazmany et al. (2017) vorschlagen, minimiert werden. Diese Einsätze sind im Vergleich zu herkömmlichen Methoden in einer ökologischen Kosten-Nutzen-Rechnung oft auch vorteilhafter. Im Fall einer privaten Nutzung ist die Sachlage aber anders. Viele Privatpersonen und auch kleinere

kommerzielle Anbieter nutzen ihre Drohnen hauptsächlich in suburbanen oder ruralen Gegenden, da dies in engen und belebten Stadtgebieten nicht oder zumindest schwerer möglich ist. Zudem werden private Drohnen häufig für Landschaftsfotografie verwendet (Jablonowski 2017). Private Drohnen werden also besonders häufig in Gegenden eingesetzt, wo eine grössere Wahrscheinlichkeit besteht, dass sie einen Einfluss auf Wildtiere ausüben. Es ist zudem davon auszugehen, dass vielen privaten Drohnnutzern diese ökologische Problematik nicht bewusst ist. Aus diesem Grund erarbeitet eine Arbeitsgruppe unter der Leitung der Konferenz für Wald, Wildtiere und Landschaft zurzeit ein Merkblatt «Drohnen und Wildtierschutz».

Der Schweizer Gesetzgeber hat auf diese Problemlage reagiert und den Einsatz von Drohnen in eidgenössischen Jagdbanngebieten sowie in international oder national bedeutenden Wasser- und Zugvogelschutzgebieten verboten. Auf diese Einschränkungen werden Drohnnutzer auch auf der Homepage des Bundesamts für Zivilluftfahrt hingewiesen.⁴⁴ Es ist angesichts der bisher etablierten Datengrundlage zum Einfluss von Drohnen auf Physiologie und Verhalten von Wildtieren allerdings zu prüfen, das Flugverbot auf weitere sensible Gebiete auszuweiten, um weitere Tierarten und Ökosysteme zu schützen. Dabei ist abzuklären, wie solche Regelungen durchgesetzt werden können und wie Kohärenz zu bereits bestehenden Regulierungen erreicht werden kann; z.B. hinsichtlich der Frage, ob Naturschutzgebiete mit Betretverbot auch mit einem Drohnenflugverbot belegt werden sollten (siehe auch Abschnitt 3.3.6).

2.6.2.3 Zwischenfazit

Im Bereich Umweltschutz lässt sich feststellen, dass schon einiges Wissen betreffend die generellen Auswirkungen menschlicher Eingriffe auf Wildtiere besteht, die sich auf die heute genutzten Drohnen übertragen lassen. Es besteht aber weiterer Forschungsbedarf, um die Auswirkungen von Drohnen hinsichtlich Faktoren wie Lärm und Stress bei Mensch und Wildtieren besser zu verstehen. Abzuklären ist insbesondere, welche langfristigen Auswirkungen bei verschiedenen Tierarten (insb. Vögeln) angesichts einer zunehmenden Nutzung von Drohnen zu erwarten sind und mit welchen Massnahmen (Schutzgebiete, Verhaltensregeln für Drohnenpiloten etc.) die entsprechenden Risiken minimiert werden können.

⁴⁴ Siehe: <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen-und-flugmodelle/allgemeine-fragen-zu-drohnen.html> (12.09.2017).

2.7 Rezeption von Drohnen in der Literatur und den Medien

2.7.1 Quantitative Auswertung von Fachzeitschriften

2.7.1.1 Methode

Um einen Überblick über die generelle Publikationstätigkeit im Bereich «Drohnen» zu erhalten, wurden die folgenden zwei Datenbanken mit wissenschaftlicher Literatur ausgewertet: Web of Science Core Collection (WoS) sowie Scopus. Für den generellen quantitativen Vergleich wurde zudem die Datenbank Factiva beigezogen, wobei aufgrund des gewählten Suchausdrucks weitgehend nur die englischsprachige Literatur erfasst wurde.⁴⁵ Suchzeitraum waren die letzten 25 Jahre, d.h. von 1991 bis 2016.

In einem ersten Schritt wurden geeignete Keywords zur Erfassung der Literatur zu Drohnen gesucht (ausgeschlossen wurden insbesondere Keywords, die zu praktisch keinen Treffern führten) und es wurden Keywords für den Ausschluss von Publikationen identifiziert, zumal der Ausdruck «drone» in der wissenschaftlichen Literatur auch anderweitig verwendet wird. Für jedes Keyword erfolgte eine Sensitivitätsanalyse, um sicherzustellen, dass der Ausdruck genügend spezifisch ist. In WoS wurde zudem geprüft, ob durch Ausschluss von einzelnen «subject categories» die Spezifität erhöht werden kann – entsprechend wurden Publikationen aus den Kategorien «Entomology», «Music», «Parasitology» und «Physiology» entfernt. In Factiva wurden nur die Quellenkategorien «Nachrichtenagenturen», «Zeitschriften» und «Zeitungen» erfasst. Die Suchstrings für die beiden wissenschaftlichen Datenbanken lauten wie folgt (in WoS wurde im Bereich «Topics» gesucht, in Scopus im Bereich «Title/Abstract/Keywords»):

WoS: (TS=(drone*) NOT TS=(bee OR drosophila OR dronedarone OR insect* OR honeybee* OR wasp OR blowfly OR dronefly OR dragonfly OR hoverfly)) OR TS=("remotely piloted aircraft") OR TS=("unmanned aircraft") OR TS=("unmanned aerial vehicle")

⁴⁵ Informationen zu den Datenbanken siehe <https://apps.webofknowledge.com>, <http://www.scopus.com> und <https://global.factiva.com>.

Scopus: PUBYEAR > 1990 AND TITLE-ABS-KEY(drone* OR "remotely piloted aircraft" OR "unmanned aircraft" OR "unmanned aerial vehicle") AND NOT TITLE-ABS-KEY(bee OR drosophila OR dronedrone OR insect* OR honeybee* OR wasp OR blowfly OR dronefly OR dragonfly OR hoverfly) AND (EXCLUDE(PUBYEAR,2017))

Factiva: drone* OR "remotely piloted aircraft" OR "unmanned aircraft" OR "unmanned aerial vehicle" NOT (bee OR drosophila OR dronedrone OR insect* OR honeybee* OR wasp OR blowfly OR dronefly OR dragonfly OR hoverfly)

Es wurden Daten über folgende Kategorien erhoben: Publikationsjahr, disziplinäre Ausrichtung der Beiträge, Autoren, Typ der Publikation, Konferenzen, Heimorganisation der Autoren, geografische Herkunft der Autoren, Finanzierung der Beiträge. Im Fall von Factiva konnten Informationen zu den folgenden Aspekten erhoben werden: Publikationsjahr, erwähnte Organisationen/Firmen, Quellenname, Themen, wirtschaftliche Branchen, erwähnte Regionen und erwähnte «executives» (Staatspräsidenten, Wirtschaftsführer etc.). Nur die für diesen Bericht relevanten Daten werden hier vorgestellt.

2.7.1.2 Resultate

Die nachfolgenden Abbildungen fassen die wichtigsten Ergebnisse zusammen. Abbildung 8 zeigt die generelle Publikationstätigkeit. Wie erwartet, wurde erst in den letzten Jahren signifikant zum Thema Drohnen publiziert. Das relative Maximum in Scopus im Jahr 2008 resultiert aus einer höheren Zahl von Konferenzen zum Thema Drohnen und den daraus resultierenden Konferenzbeiträgen (Proceedings), die von der Datenbank WoS nicht erfasst werden. Bemerkenswert ist insbesondere, dass die Entwicklung in den Fachzeitschriften und den allgemeinen Medien parallel verläuft – es kann also nicht behauptet werden, dass die Dynamik in den Wissenschaften in relevanter Weise der allgemeinen Berichterstattung vorausgegangen ist. Dies dürfte primär mit den unterschiedlichen thematischen Gewichtungen zusammenhängen, d.h. dem Fokus auf militärische Anwendungen in den allgemeinen Medien (siehe unten).

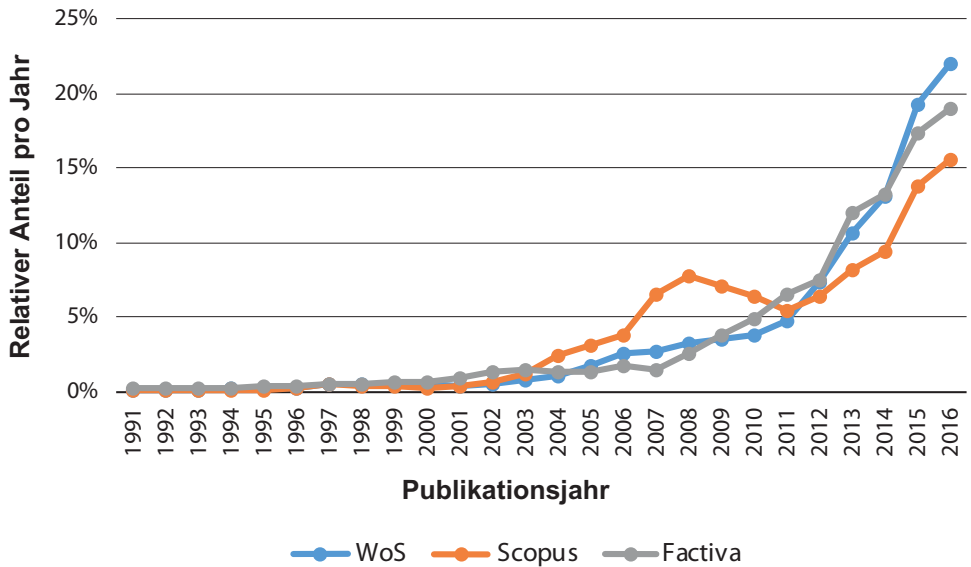


Abbildung 8: Anteil der pro Jahr publizierten Beiträge zu Drohnen in den Datenbanken Scopus, Web of Science und Factiva im Zeitraum von 1991 bis 2016.

Abbildung 9 gibt einen genaueren Blick auf die geografische thematische Verteilung der Beiträge. Im Fall der wissenschaftlichen Publikationen wurden das Herkunftsland der Autoren erfasst, im Fall von Factiva die in den Berichten genannten geografischen Regionen, die mit dem jeweiligen Artikel assoziiert wurden. Ausserdem wurden die Beiträge hinsichtlich der Kategorien «militärisch» bzw. «nicht militärisch» klassifiziert. Im Fall der wissenschaftlichen Publikationen wurde erfasst, ob die Herkunftsinstitutionen der Autoren militärischer Art sind (z.B. US Air Force Academy) oder nicht. Im Fall von Factiva wurde die Zahl der genannten Organisationen (militärisch z.B. «Air Force», «Al Kaida» etc.) sowie Themen (militärisch z.B. «Terrorismus», «Streitkräfte» etc.) jeweils einer der beiden Kategorien zugeordnet.

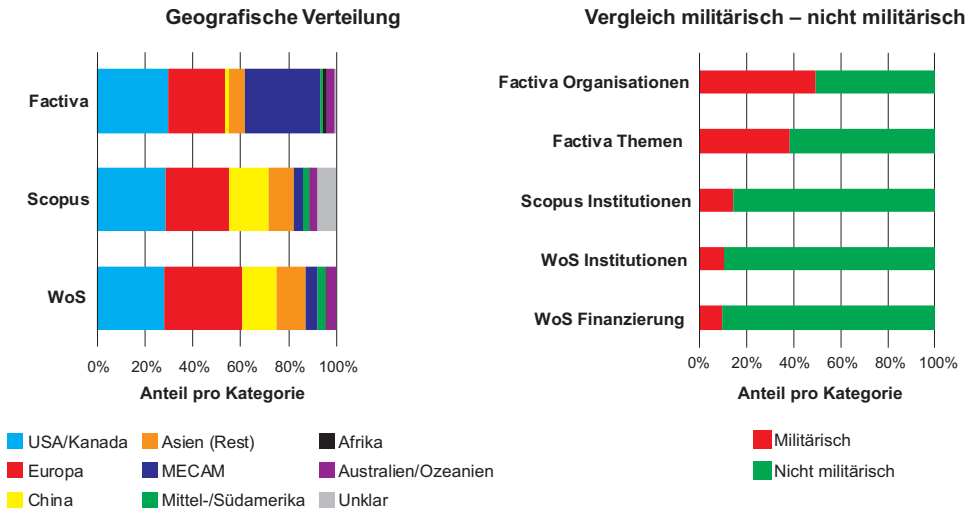


Abbildung 9: Geografische und thematische Verteilung der publizierten Drohnenliteratur.

Hier zeigt sich ein frappanter Unterschied zwischen den Fachmedien und den allgemeinen Medien: während in Ersteren das militärische Thema markant weniger vertreten ist (rund 10–15% aller Nennungen entfallen auf diesen Bereich), findet sich dieses in Factiva bei bis zur Hälfte der Nennungen. Das widerspiegelt sich auch in den Regionen: Fast ein Drittel (31.4%) der Nennungen bei Factiva entfallen auf die MECAM-Region – also Staaten des Mittleren Ostens und Zentralasiens (insbesondere Afghanistan und Pakistan), d.h. den Hauptoperationsgebieten des «Drohnenkriegs». Diese Daten zeigen, dass eine Wahrnehmungskluft bezüglich der Rezeption von Drohnen zu erwarten ist, wenn die Forschung zum Thema Drohnen mit der Öffentlichkeit verglichen wird. Dieses Ergebnis wird für die Schweizer Medien genauer untersucht und fließt dann in die Stakeholder-Analyse ein.

2.7.1.3 Qualitative Analyse

Die sozialwissenschaftliche Forschung zum Thema Drohnen hat in den letzten fünf Jahren sehr stark zugenommen. Der grösste Teil dieser Arbeiten bezieht sich jedoch weiterhin auf militärische und geheimdienstliche Nutzungen. Zivile Drohnen-nutzungen werden darin, wenn überhaupt, nur am Rande berücksichtigt (z.B. bei Gusterson 2014 & 2016; Biermann & Wiegold 2015; Rothstein 2015).

Mit der stärkeren öffentlichen Wahrnehmung ziviler Drohnnennutzungen werden diese zunehmend als eigenständiges Forschungsfeld entdeckt. Anders als bei militärischen und geheimdienstlichen Nutzungen gibt es jedoch noch keine systematischen Darstellungen, sondern vornehmlich Fallstudien. Mit Maximilian Jablonski erarbeitet gerade einer der Autoren dieser Studie im Rahmen seiner Dissertation eine umfangreiche Darstellung zur privaten Nutzung ziviler Drohnen in der Schweiz und in Deutschland. Zudem wird am Institut de Géographie der Université de Neuchâtel gegenwärtig im Rahmen des SNF-Projekts «Power and Space in the Drone Age» unter der Leitung von Francisco Klauser eine gross angelegte Studie zur Nutzung ziviler Drohnen mit einem Westschweizer Fokus durchgeführt. Für die Niederlande liegt eine Studie von Custers et al. (2015) vor. Umfangreichere Darstellungen finden sich auch in den Sammelbänden Jumbert & Sandvik (2016a), Custers (2016a) und Završnik (2016a). Der folgende Forschungsstand identifiziert die wichtigsten Schwerpunkte sowie Leerstellen der bisherigen Forschung.

Der grösste Teil von Publikationen beschäftigt sich, ähnlich wie die Publikationen zur militärischen Drohnnennutzung, mit den rechtlichen und ethischen Fragen, die zivile Nutzungen oder Nutzungsvisionen von Drohnen aufwerfen. Insbesondere stehen Luftverkehrsrecht, Luftraumintegration und Risikomanagement (Dalamagkidis, Valavanis & Piegl 2012; Kornmeier 2012; Clarke & Bennett Moses 2014; Clarke 2016; Scott 2016; Custers 2016; Ravich 2016; Hänsenberger & Wildhaber 2016a; Mendes de Leon & Scott 2016) oder Datenschutz und Schutz der Privatsphäre (Calo 2011; Finn & Wright 2012 & 2016; Wright 2014; Kornmeier 2012; Boon & Lovelace 2014; Clarke 2014a–c; Volovelsky 2014; Myers Morrison 2015; Finn & Donovan 2016; Gorkič 2016) im Zentrum dieser Betrachtungen. Auch in der Schweizer Rechtswissenschaft gibt es inzwischen eine zunehmende Auseinandersetzung mit zivilen Drohnen (Henseler i.E.; Hänsenberger & Wildhaber 2016b).

Insbesondere um die Grenzbereiche von ziviler und militärischer Nutzung hat sich eine Debatte entsponnen. Ein Schwerpunkt der Debatte fokussiert auf humanitäre Nutzungen. Dabei geht es vor allem um die umstrittene Frage, inwieweit der Einsatz von Drohnen bei UN Peacekeeping Missionen (Karlsrud & Rosén 2013 & 2016; Rosén 2014; Rosén & Karlsrud 2014) und durch humanitäre Organisationen (Sandvik & Lohne 2014; Whetham 2015; Sandvik & Jumbert 2015; Lidén & Sandvik 2016; Marin 2016) in volatilen Regionen den Zweck der jeweiligen Mission unterstützen oder sogar untergraben könnte. Normalerweise geht es dabei um den Einsatz unbewaffneter Drohnen für die Aufklärung oder Logistik. Nur eine Minderheitenposition argumentiert für den Einsatz bewaffneter Drohnen in diesen Kontexten (Kennedy & Rogers 2015). Ein weiterer Schwerpunkt der Debatte liegt auf Nutzungen im Bereich innere Sicherheit, das heisst im Katastrophenschutz (Hermanns 2013; Sandvik & Lohne 2013; De Cubber et al. 2014; Kaufmann 2016) oder beim Grenzschutz und anderen polizeilichen Nutzungen (Salter 2013; Klauser & Pedrozo 2015a; Bracken-Roche 2016; Jensen 2016; Sandvik 2016a & b; Marin 2016; Martini et al. 2016; Michaelides-Mateou 2016; Engberts & Gillissen 2016; Milivojevic 2016; Marin & Krajčiková 2016). Auch dabei gibt es sehr unterschiedliche Einschätzungen zur Legitimität und Effektivität von Drohneneinsätzen.

Langsam kommen auch andere Nutzungsweisen in den Blick der Sozialwissenschaften, wie z.B. Wildtiermanagement und die Abwehr von Wilderei (Koh & Wich 2012; Bergenas, Stohl & Georgieff 2013; Schiffman 2014; Humle et al. 2014; Wich, Scott & Koh 2016) oder Landwirtschaft (Freeman & Freeland 2014; kritisch dazu Bolman 2016). Ein ebenfalls zunehmend diskutiertes Thema ist die Nutzung ziviler Drohnen im Journalismus (Bartzen Culver 2014; Tremayne & Clark 2014; Love, Lawson & Holton 2014; Holton, Lawson & Love 2015; Goldberg 2015 & 2016; Ntalakas et al. 2017).

Das prominente Thema der Auslieferung von Gütern mit Drohnen, wie es von Amazon, DHL oder auch der Schweizer Post medienwirksam vorgestellt wurde, hat bislang nur wenig wissenschaftliche Resonanz gefunden. Das liegt vermutlich daran, dass sich alle Projekte noch in sehr frühen Testphasen befinden, es also schwierig ist, empirische Untersuchungen und damit fundierte Aussagen zur Umsetzbarkeit durchzuführen. D'Andrea (2014) adressiert sehr allgemein die Frage der technischen und ökonomischen Machbarkeit. Applin (2016) schätzt mögliche soziale, rechtliche und auch ökologische Aspekte des Einsatzes von *delivery drones* ein.

Es fällt generell auf, dass es wenige wirtschaftswissenschaftliche Studien zur kommerziellen Nutzung von zivilen Drohnen gibt. Eine Ausnahme sind Marktprognosen von privaten Markt- und Wirtschaftsforschungsinstituten. Auch die Drohnenindustrie selbst ist erst jüngst und noch sehr schlaglichthaft in das Blickfeld sozial- oder wirtschaftswissenschaftlicher Forschung geraten (Jackman 2016; Crampton 2016; McKenna 2016). Einen ersten, aber noch unvollständigen Einblick in die Situation und die Potenziale der Schweizer Drohnenindustrie gibt Arora (2015).

Die Nutzung von zivilen Drohnen im privaten Rahmen (sogenannte consumer drones) ist bislang ebenfalls kaum Thema sozialwissenschaftlicher Forschung geworden. Ein allgemeiner Einstieg zum Verhältnis von privater Drohnennutzung und Modellflugpraktiken findet sich bei Jablonowski (2015 & 2017c). Etwas mehr Aufmerksamkeit hat die Nutzungen von consumer drones zum Filmen erhalten, entweder im privaten oder semiprofessionellen Rahmen (Jablonowski 2014; 2017a & b; McCosker 2015a) oder im Zusammenhang mit den Protesten in Bulgarien, Ukraine und Russland (Schmidt 2015) oder Bangkok, Hongkong und Türkei (McCosker 2015b) (allgemein zur Nutzung von Drohnen zu Zwecken der counter-surveillance Waghorn 2016 sowie Završnik 2016b).

Nur wenig gesicherte quantitative Daten liegen bislang zur Frage der Akzeptanz von zivilen Drohnennutzungen vor. Die meisten Studien basieren auf Daten, die in Nordamerika erhoben wurden (für die USA: Monmouth University Poll 2012 & 2013; Miethe et al. 2014; für Kanada: Thompson & Bracken-Roche 2015). Für die Schweiz haben Klauser & Pedrozo (2015b, 2016 & 2017) einen ersten qualitativen Einblick erarbeitet. Diese vorläufige Datengrundlage weist auf eine besonders grosse Skepsis gegenüber privater und kommerzieller Nutzung von Drohnentechnologie hin, wohingegen staatliche Nutzungen weniger negativ bewertet werden. Insbesondere der Schutz der Privatsphäre ist dabei ein wichtiges Thema. Deshalb gibt es länderübergreifend verschiedene Strategievorschläge, wie man die Akzeptanz dieser neuen Technologie bei der Bevölkerung verbessern könnte (McKenna 2016; Finn & Wright 2016; Boucher 2014 & 2016), wobei dies freilich keine genuine Aufgabenstellung sozialwissenschaftlicher Forschung ist.

Der gegenwärtige Forschungsstand lässt drei Forschungslücken erkennen:

1. Zivile Drohnennutzung hat erst mit deutlicher Verzögerung zur militärischen Nutzung sozialwissenschaftliche Aufmerksamkeit erfahren. Dies gilt umso

mehr, wenn es um nicht staatliche Nutzungen im kommerziellen und freizeitlichen Bereich geht.

2. In der Drohnenforschung besteht immer noch ein Mangel an fundierter empirischer Sozialforschung, sowohl was die Akzeptanz als auch was konkrete Nutzungen der Technologie anbelangt. Hier besteht grosser Bedarf an sozialwissenschaftlicher Grundlagenforschung.
3. Während es für militärische Drohennutzungen bereits Versuche gibt, systematisch Erkenntnisse zu bündeln, gibt es noch kaum systematische Darstellungen zur zivilen Drohennutzung. Die Forschung beschränkt sich bislang auf Fallstudien zu einzelnen Einsatzbereichen aus vereinzelt lokalen, disziplinären oder professionellen Kontexten. Dabei lässt sich zudem ein regionales Ungleichgewicht feststellen. Gerade zur Schweiz und dem gesamten deutschsprachigen Raum liegen bislang nur wenige Arbeiten vor (Klauser & Pedrozo 2015a & 2017; Arora 2016; zudem weniger regional spezifisch Jablonowski 2015; 2016; 2017a, b & c).

2.7.2 Inhaltsanalyse der Schweizer Presse

2.7.2.1 Methode

Für die Auswertung der Schweizer Presse wurden die Datenbanken Factiva (regionale Einschränkung auf die Schweiz und die Quellenkategorie Zeitungen) und Swissdox⁴⁶ für den Zeitraum 2000–2016 für deutsch- und französischsprachige Medien untersucht. Hier ergab sich, dass der Suchstring «drohne* OR drone*» ausreichend spezifisch war, um grösstenteils Beiträge zu Drohnen als unbemannte Luftfahrzeuge zu erfassen – Zeitungsartikel zu Bienendrohnen waren sehr selten. Factiva konnte allerdings «dröhnen» von «drohnen» nicht unterscheiden, was aber irrelevant war, da für die Inhaltsanalyse jeder Beitrag einzeln gesichtet und kategorisiert wurde.

Eine genauere Analyse ergab allerdings auch, dass sich die Datenbanken inhaltlich voneinander unterscheiden: Factiva unterschätzt generell die Zahl der französischsprachigen Beiträge, während Swissdox tendenziell die Zahl der deutschsprachigen Beiträge unterschätzt. Dies dürfte auf Unterschiede in der Kuration der

⁴⁶ Informationen zu den Datenbanken siehe <https://global.factiva.com> und <http://www.swissdox.ch/Swissdox2/>.

Datenbanken beruhen, z.B. erfasst Factiva einzelne Textelemente (z.B. Bildlegenden oder Kästen) separat. Um irrelevante Elemente wie Bildlegenden bzw. Duplikationen aufgrund von Anrissen auf der Titelseite bei der Klassifikation zu vermeiden, wurden Beiträge unter 100 Worte bzw. 1000 Zeichen nicht erfasst (mit Ausnahme von «20 Minuten» und «Blick am Abend», weil diese Formate meist nur sehr kurze Meldungen bringen). Aufgrund der Unterschiede zwischen den beiden Datenbanken wurde entschieden, beide durch zwei Personen parallel zu erfassen (randomisierte Zuordnung pro Publikationsorgan und Datenbank) und jeweils den Durchschnitt pro Kategorie für die Auswertung zu verwenden. Damit können auch allfällige Unterschiede in der Zuverlässigkeit der Klassifikation der beiden Kodierer ausgeglichen werden.

In einem ersten Schritt wurde das gesamte Publikationsaufkommen der Jahre von 2000 bis 2016 erfasst. Hier ergab sich in beiden Datenbanken, dass ein signifikanter Anstieg der Publikationstätigkeit im Jahr 2012 einsetzte. Entsprechend wurde die Inhaltsanalyse auf Beiträge der letzten fünf Jahre eingeschränkt, wobei nur jene Medien erfasst wurden, die sehr oft über Drohnen berichtet haben und gleichzeitig eine vergleichsweise hohe Reichweite (Auflage)⁴⁷ hatten. Ausgewählt wurden folgende Medien (in Klammer: Auflagezahlen):

Deutschsprachige Schweiz

20 Minuten (442'994)
 Aargauer Zeitung (155'716)
 Basler Zeitung (48'223)
 Berner Zeitung (138'484; mit Bund)
 Blick am Abend (270'984)
 Der Bund (138'484; mit BZ)
 Neue Luzerner Zeitung (120'239)
 NZZ (85'261)
 NZZ am Sonntag (104'400)
 Sonntags Blick (175'648)
 Sonntags Zeitung (165'918)
 St. Galler Tagblatt (122'958)
 Südostschweiz (76'504)
 Tages-Anzeiger (147'146)

Französischsprachige Schweiz

20 Minutes (183'498)
 24 Heures (55'279)
 Le Matin (40'682)
 Le Matin dimanche (112'896)
 Le Temps (33'290)
 Tribune de Geneve (36'393)

⁴⁷ Die Auflagezahlen stammen vom Verband Schweizer Medien (<http://www.schweizermedien.ch/>) und betreffen das Jahr 2016.

Alle Beiträge dieser Medien der vergangenen 5 Jahre wurden dann einer der folgenden Kategorien zugeordnet:⁴⁸

Allgemein

- Generelle Beiträge wie z.B. statistische Angaben zur Drohnennutzung etc.
- Technik generell, z.B. Weiterentwicklung von Drohnen
- Wirtschaftlicher Nutzen, Bedeutung von Drohnen
- Drohnenabwehr
- Regulierungsfragen

Chancen und Risiken:

- Privatsphäre/Datenschutz
- Lärmschutz
- Naturschutz: Wildtiere, Vögel, Wanderer etc.
- Sicherheit Luftraumnutzer: Beinahekollisionen etc.
- Absturz von Drohnen
- Drohnen als «Ikone» von Technologiekritik, Digitalisierung etc.

Anwendungsformen:

- Militärisch: Drohnenkrieg, «targeted killing» etc.
- Ackerbau, Landwirtschaft
- Logistik und Transport (Güter und Menschen)
- Luftaufnahme mittels Drohnen
- Überwachung von Anlagen, Bauten etc.
- Überwachung von Personen (Demonstrationen, Grenzen etc.)
- Kriminelle Nutzung, Terrorismus mit Drohnen
- Kommunikation, Drohnen als Relaisstationen
- Humanitärer Einsatz von Drohnen (Rettung etc.)
- Freizeit, private Nutzung von Drohnen
- Forschung mit Drohnen
- Künstlerischer Einsatz von Drohnen

⁴⁸ Nicht beachtet wurden Beiträge, die gemäss dem genannten Längenkriterium zu kurz waren, in denen es um Bienen Drohnen ging oder in denen der Begriff «Drohne» ohne irgendwelchen relevanten Bezug zu Drohnen als Luftfahrzeuge vorgekommen ist, z.B. als Unterwasserdrohne (dies kam sehr selten vor).

Bei der Wahl der Kategorien wurde darauf geachtet, dass eine Übereinstimmung mit jenen Kategorien besteht, die dann auch in der Stakeholder-Umfrage verwendet wurden.

2.7.2.2 Resultate

Insgesamt wurden für diese Analyse (beide Datenbanken eingeschlossen; die meisten kamen in beiden Datenbanken vor) 11'254 Beiträge klassifiziert, d.h., es erschienen in den vergangenen fünf Jahren in den ausgewerteten Medien mehr als 5600 Artikel zum Thema Drohnen. Die durchschnittliche Zahl stieg von 538 Beiträgen im Jahr 2012 auf 1380 Beiträge im Jahr 2014 und verharrte dann auf diesem Niveau.

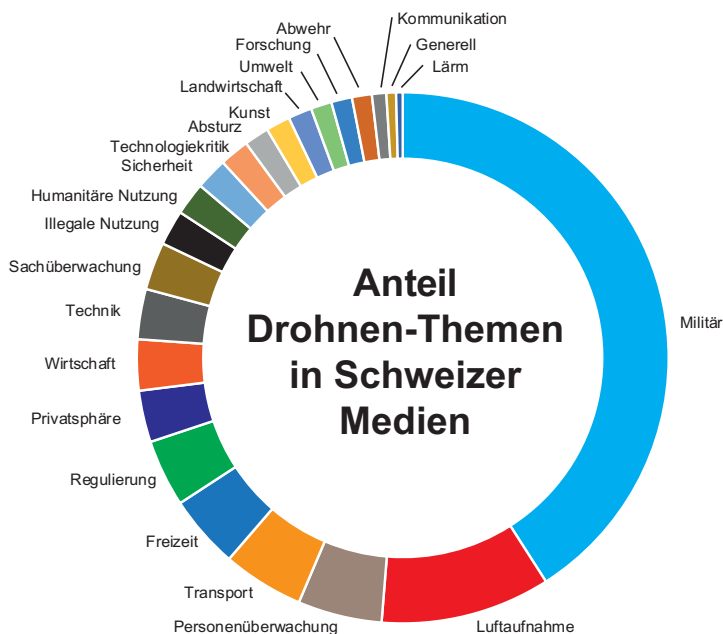


Abbildung 10: Thematische Verteilung der Beiträge in Schweizer Medien.

Die allgemeine thematische Verteilung reproduziert das in der internationalen Presse bereits ersichtliche Bild (Abbildung 10): Militärische Themen dominieren auch hier, 40.9% aller Beiträge gehören zu dieser Kategorie. Erwartungsgemäss

stark vertreten ist auch die Kategorie Luftaufnahmen (10.3%). Die Anwendungsgebiete «Personenüberwachung», «Gütertransport» und «Freizeit» folgen mit je rund 5% Anteil. Die häufigste Risikokategorie ist «Privatsphäre», 3.1% aller Beiträge wurden dieser Kategorie zugeteilt. Die zu den Umweltrisiken gehörenden Risikokategorien «Umwelt» (1,3%) und Lärm (0.4%) sind sehr schwach vertreten.

Ein interessantes Bild zeigt sich bei der zeitlichen Entwicklung der Hauptgruppen, insbesondere beim Vergleich der deutschsprachigen mit der französischsprachigen Presse (Abbildung 11). Wie erwartet, nimmt die Bedeutung des militärischen Themas im Zeitverlauf deutlich ab – in der französischsprachigen Schweiz ist der Rückgang allerdings deutlicher. Risikothemen sind in der deutschsprachigen Schweiz auch deutlich stärker vertreten als in der französischsprachigen Schweiz.

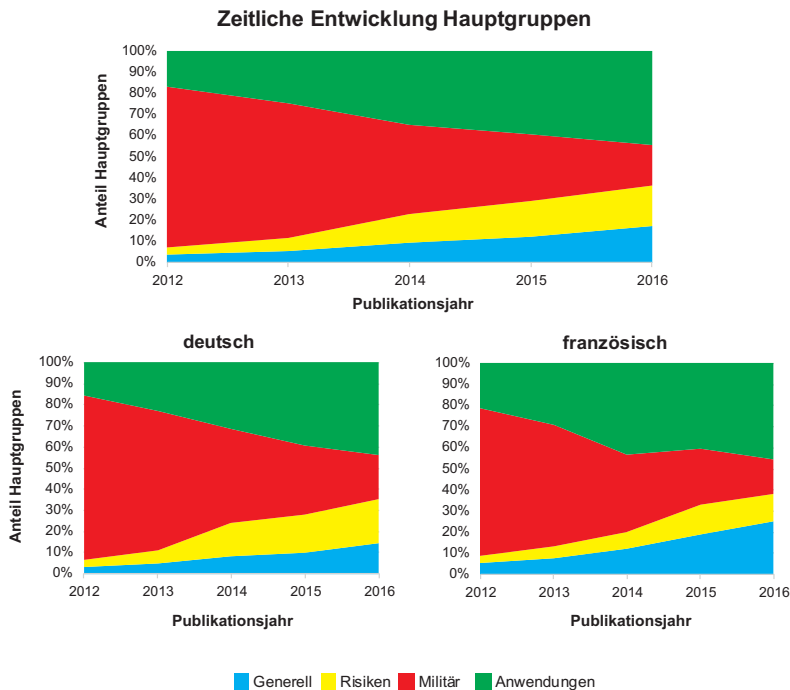


Abbildung 11: Zeitliche Entwicklung der Hauptgruppen der Beiträge in Schweizer Medien.

Vergleicht man die einzelnen Kategorien (Abbildung 12), so zeigt sich ein differenzierteres Bild. Während in der Deutschschweizer Presse 43.0% der Beiträge dem militärischen Bereich zugeordnet sind, sind es in der französischsprachigen Schweiz nur 35.3%. Deutliche Unterschiede in der Gewichtung finden sich auch bei den Themen Privatsphäre (3.6% vs. 2.6%) und illegale Drohnennutzung (2.4% vs. 1.5%). Deutlich mehr Zuspruch in der französischsprachigen Schweiz finden hingegen die Themen «Technik» (5.9% vs. 2.0%), «Wirtschaft» (5.1% vs. 2.4%) und «Sachüberwachung» (3.4% vs. 2.7%). Insgesamt zeigt sich somit, dass in der französischsprachigen Schweiz ein positiveres Bild von Drohnen rezipiert wird, was mit ein Grund dafür sein dürfte, dass sich das «drone valley» in der Region Lausanne etabliert hat.

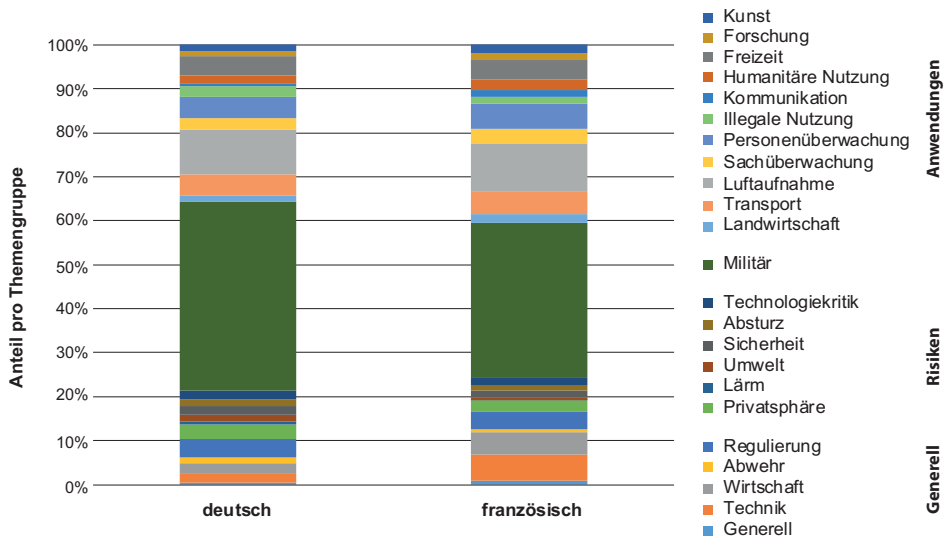


Abbildung 12: Vergleich Themengruppen deutsch- und französischsprachige Schweiz.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich in den Schweizer Medien die in den internationalen Medien festgestellten thematischen Schwerpunktsetzungen insgesamt bestätigen, die zivile Nutzung von Drohnen aber deutlich an Gewicht gewonnen hat. Es findet sich ein bemerkenswerter Unterschied zwischen den Deutschschweizer und Westschweizer Medien: Erstere betonen kritische Aspekte stärker, während das wirtschaftliche Potenzial der Drohnentechnologie in der Westschweiz ein grösseres Gewicht in der Berichterstattung erhält.

3. Regulation

Dieses Kapitel zielt auf eine Bestandsaufnahme und Bestimmung des Normierungsgehalts des geltenden Rechts in der Schweiz und auf internationaler Ebene im Bereich der identifizierten Drohnensachverhalte ab. Darauf aufbauend wird eine Einschätzung der künftigen regulatorischen Dynamik unter Berücksichtigung des schweizerischen Handlungsspielraums angesichts der internationalen Entwicklungen vorgenommen. Das Kapitel beleuchtet kurz auch die wichtigsten politischen Aktivitäten der jüngsten Zeit rund um Regulationsaspekte ziviler Drohnen. Vorschläge zum weiteren regulatorischen Vorgehen unter Abwägung möglichst vieler – bisweilen aber auch unterschiedlicher – Interessen werden dann in Abhängigkeit zu den nachfolgend entwickelten Szenarien im Kapitel «Empfehlungen» ausgeführt.

3.1 Einleitung

Der Begriff «Regulation» bedeutet, für verschiedene allgemeine Sachverhalte verbindliche Regeln zu erlassen. Regulation weist daher eine sogenannte «generell-abstrakte» Charakteristik auf. Geregelt wird also in erster Linie nicht ein konkreter Einzelfall, wie dies beispielsweise beim Erlass einer Verfügung geschieht (z.B. im Zusammenhang mit der Erteilung einer Bewilligung, des Erlasses einer Busse oder der Verfügung eines individuellen Verbots). Jede Regulation benötigt für ihre Geltung aber den Vollzug, d.h., ohne die Durchsetzung der Regeln im Einzelfall bleiben diese wirkungslos. Der Vollzug generell-abstrakter Vorschriften mittels individuell-konkreter Anwendungsfälle sorgt unter anderem für die «Compliance», mithin die Einhaltung der allgemeinen Regeln. Wo keine Konsequenz im Falle eines regelwidrigen Verhaltens zu befürchten ist, wird die Einhaltung einer einschränkenden Regel öfter unterbleiben. Auf der anderen Seite erweisen sich unsinnige bzw. unsachgemässe Regeln auch mittels aufwendiger Vollzugsmassnahmen oft als nur schwer durchsetzbar.

Die Setzung von verbindlichen Regeln, die Rechtsetzung, hat in erster Linie einem der obersten Gebote der Bundesverfassung⁴⁹ zu genügen, der Rechtsgleichheit⁵⁰. Das allgemeine Rechtsgleichheitsgebot im Rahmen der Rechtsetzung wird dann verletzt, wenn «Gleiches nicht nach Massgabe seiner Gleichheit gleich oder Ungleiches nicht nach Massgabe seiner Ungleichheit ungleich behandelt wird».⁵¹ Hinter dieser auf den ersten Blick komplizierten Formel verbirgt sich nichts anderes als der Grundsatz, dass vergleichbare Sachverhalte auch gleich zu regeln sind und dass unterschiedliche Sachverhalte eben auch unterschiedlich zu behandeln sind.

Regulation knüpft also immer an tatsächliche oder mögliche Sachverhalte an. Daher schliesst das vorliegende Kapitel an die Ergebnisse der vorangehenden Kapitel an, die die wichtigsten Fakten und Perspektiven der Drohnentechnologie beleuchtet. Was kann wo und durch wen mit (welcher Art von) zivilen Drohnen gemacht werden? Wie können zivile Drohnen eingesetzt werden und welche Regulierungsthemen werden aufgrund solcher Einsatzarten tangiert? Diese Fragen bilden die Ausgangspunkte für die Beurteilung sämtlicher regulatorischer Aspekte.

Vorliegend sollen daher zunächst einmal die Sachverhalte, bei denen zivile Drohnen auf die eine oder andere Art und Weise zum Einsatz kommen, aus rechtlicher Optik identifiziert und strukturiert werden. Je nach Einsatzart und Ort des Gebrauchs ziviler Drohnen stehen unterschiedliche Regulierungsthemen im Vordergrund. Während sich einige regulatorische Bereiche über eine Vielzahl möglicher Einsatzarten ziviler Drohnen erstrecken (wie z.B. die technische Sicherheit), stellen sich einige Fragen nur, wenn die Drohnen auch an spezifischen Orten eingesetzt werden (z.B. im Zusammenhang mit Fragen des Besitzschutzes).

Die politischen Vorstösse und Anliegen im Bereich ziviler Drohnen sollen in diesem Kapitel selbstverständlich ebenfalls behandelt bzw. beurteilt werden. Auch die anstehenden Entwicklungen und die aktuellen Diskussionen im In- und Ausland rund um die Regulation von zivilen Drohnen sollen – soweit relevant – zusammengefasst und bewertet werden.

⁴⁹ Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV; SR 101).

⁵⁰ Vgl. Art. 8 BV.

⁵¹ Für die kontinuierliche Rechtsprechung des Bundesgerichts vgl. statt vieler: BGE 136 I 1 E. 4.1.

Das Ziel dieses Kapitels ist es schliesslich zu beurteilen, ob die derzeit geltenden Regeln im Bereich ziviler Drohnen den identifizierten Einsatzarten und -orten gerecht werden oder ob aus rechtlicher Sicht Lücken bestehen. Werden Lücken identifiziert, d.h., werden Bereiche geortet, wo die bestehende Regulation eine unbefriedigende oder zumindest zu hinterfragende Situation hinterlässt, sollen Empfehlungen zur möglichen Schliessung dieser Lücken formuliert werden. Dies wird in Abhängigkeit der in Kapitel 4 entwickelten Szenarien geschehen und bildet einen Kern des Kapitels «Empfehlungen». Dabei wird bewusst ein neutraler Regulierungsansatz verfolgt und die (politischen) Entscheide des verantwortlichen Gesetzgebers sollen nicht präjudiziert werden.

3.2 Übersicht über die relevanten regulatorischen Bereiche

Die Frage nach den relevanten regulatorischen Bereichen, die im Rahmen dieser Studie von Interesse sind, basiert auf den möglichen Einsatzorten und -zwecken ziviler Drohnen. Bezüglich des Einsatzortes muss eine grundlegende Unterscheidung beachtet werden: Zivile Drohnen können grundsätzlich auf *öffentlichem* oder auf *privatem* Gelände eingesetzt werden. Ein Einsatz auf privatem Gelände kann sodann auf dem eigenen Grundstück stattfinden oder auf dem Gelände eines Dritten. Andere Einsatzorte gibt es nicht, wobei der Luftraum vorliegend uneingeschränkt zum öffentlichen Gelände gezählt wird.

Einsatzzwecke sind nahezu unbeschränkt und lassen sich – auch aufgrund der zu erwartenden Entwicklungen – nicht vollständig absehen. Dennoch können einige Einsatzbereiche sinnvoll zusammengefasst werden, sodass sie mit den bereits bestehenden Regulierungsbereichen in Beziehung gebracht werden können. Diese Bereiche sind:

- reine **Unterhaltung** (Spiel),
- **Beobachtung** (inkl. Ton- und/oder Bildaufnahmen),
- **gewerbliche Nutzungen** (z.B. Landwirtschaft, Logistik),
- **öffentliche Nutzungen** (z.B. durch die Polizei oder den Grenzschutz)
- sowie das weite Feld **widerrechtlicher Nutzungen** (z.B. zum Zwecke des Drogenumschlags oder von strafbaren Vorbereitungshandlungen).

Je nach Nutzungsart- und -ort stehen verschiedene Regulierungsbereiche im Vordergrund des Interesses.

Diese für die regulatorische Analyse verwendete Aufgliederung in Nutzungsarten ist nicht disjunkt, d.h., die Nutzungen schliessen sich nicht gegenseitig aus. So kann z.B. das Generieren von Ton und Bildaufnahmen («Beobachtung») auch Teil einer gewerblichen oder öffentlichen Nutzung sein. Da aber Daten erzeugt werden, ist diese Nutzungsart direkt mit dem Regulierungsbereich «Persönlichkeits- und Datenschutz» verbunden.

Nachfolgend sollen ausgehend auf dieser Auslegeordnung die Regulierungsbereiche «Technische Sicherheit und Haftung» (Abschnitt 3.3.1), «Persönlichkeits- und Datenschutz» (Abschnitt 3.3.2), «Eigentums- und Besitzerschutz» (Abschnitt 3.3.3), «Gesetzliche Grundlage und Zonenkonformität» (Abschnitt 3.3.4), «Gemeingebrauch bzw. gesteigerter Gemeingebrauch» (Abschnitt 3.3.5) sowie «Umweltschutz» (Abschnitt 3.3.6) genauer analysiert werden. Dabei wird zunächst jeweils das Regulierungsobjekt näher umschrieben, um basierend darauf nationale und allfällige internationale Regulierungsaspekte zu behandeln.

3.3 Analyse der einzelnen Regulierungsbereiche

3.3.1 Technische Sicherheit und Haftung

3.3.1.1 Regulierungsobjekt

Jede Art von Nutzung einer zivilen Drohne – unabhängig von ihrer Grösse und Beschaffenheit – betrifft den Regulationsbereich der technischen Sicherheit und die Frage, wer im Falle eines Personen- oder Sachschadens dafür aufzukommen hat. Im einen Fall geht es im Wesentlichen um Produkthaftpflichtfragen (so z.B. im Zusammenhang mit kleinen Spielzeugdrohnen), im anderen Anwendungsfall kann unter Umständen die Sicherheit der Luftfahrt oder anderer geschützter Rechtsgüter auf dem Spiel stehen (z.B. durch die gewerbliche Nutzung von Drohnen über 30 kg). In jedem Fall muss aber klar sein, welchen Anforderungen Drohnen und ihr Betrieb aus technischer Hinsicht zu genügen hat und wer für allfällige Schäden aufzukommen hat.

3.3.1.2 Schweizerische Regulierung

Die gesetzlichen Grundlagen ordnen die Drohnen heute als vollständige Teilmenge der Modellluftfahrzeuge ein (vgl. dazu Abschnitt 2.1.3). Diese wiederum bilden eine Schnittmenge der Kategorie «unbemannte Luftfahrzeuge». Der Begriff der unbemannten Luftfahrzeuge taucht auf Gesetzesstufe nur in einer einzigen Bestimmung auf. Artikel 108 Absatz 1 Buchstabe c des Luftfahrtgesetzes⁵² ermächtigt den Bundesrat, einzelne Bestimmungen des Gesetzes für unbemannte motorisch angetriebene Luftfahrzeuge als nicht anwendbar zu erklären.

Auf Verordnungsstufe legt Artikel 12a der Luftfahrtverordnung⁵³ den Grundsatz fest, dass unbemannte Luftfahrzeuge mit einem Gewicht von mehr als 30 kg nur mit einer Bewilligung des Bundesamts für Zivilluftfahrt (BAZL) eingesetzt werden dürfen. Die Kantone erhalten die Kompetenz, Massnahmen für unbemannte Luftfahrzeuge mit einem Gewicht von weniger als 30 kg zu treffen zur Verminderung der Umweltbelastung und der Gefährdung von Personen und Sachen auf der Erde. Das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) soll im Bereich der unbemannten Luftfahrzeuge die Einzelheiten regeln. Dies hat das UVEK denn auch gemacht und in der Verordnung über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien⁵⁴ Vorschriften für unbemannte Luftfahrzeuge mit mehr und solche mit weniger als 30 kg Gewicht aufgestellt (vgl. Art. 14 ff. VLK). Artikel 14 VLK enthält zwar eine beispielhafte Aufzählung von unbemannten Luftfahrzeugen, indem dort «namentlich Drachen, Drachenfallschirme, Fesselballone und Modellluftfahrzeuge» erwähnt werden. Diese Aufzählung steht aber in einem gewissen Widerspruch zu Artikel 1 VLK, der bestimmt, dass die Verordnung für «Hängegleiter ohne Antrieb oder mit elektrischem Antrieb, Drachen, Drachenfallschirme, Fesselballone, Fallschirme *und* unbemannte Luftfahrzeuge»⁵⁵ gelte. Das heisst, während in Artikel 1 die erwähnten Fluggeräte offenbar nicht zu den unbemannten Luftfahrzeugen zählt, ordnet Artikel 14 VLK sie dann eindeutig den unbemannten Luftfahrzeugen zu. Aus dem Gesamtzusammenhang wird dennoch klar, was der Regulator unter unbemannten Luftfahrzeugen versteht, nämlich

⁵² Bundesgesetz über die Luftfahrt vom 21. Dezember 1948 (Luftfahrtgesetz, LFG; SR 748.0).

⁵³ Verordnung über die Luftfahrt vom 14. November 1973 (Luftfahrtverordnung, LFV; SR 748.01).

⁵⁴ Verordnung des UVEK über Luftfahrzeuge besonderer Kategorien vom 24. November 1994 (VLK; SR 748.941).

⁵⁵ *Kursive Hervorhebung* durch den Autor; es heisst mithin im Geltungsbereich der VLK nicht etwa «und anderen unbemannten Luftfahrzeugen».

sämtliche Luftfahrzeuge, die nicht von einem Piloten an Bord gesteuert werden.⁵⁶ Mit anderen Worten zählen auch Luftfahrzeuge mit Personen an Bord – jedoch ohne Pilot – zu den unbemannten Luftfahrzeugen. Diese Frage ist nicht theoretischer Natur, da insbesondere künftige Entwicklungen vermehrt den Betrieb von Luftfahrzeugen ohne Piloten an Bord ermöglichen werden (siehe Abschnitt 2.4.2.7). Nicht nur im Landverkehr (Strasse und Schiene) gewinnt die Diskussion um selbstfahrende Fahrzeuge stetig an Bedeutung; die Luftfahrt ist bereits aufgrund ihrer technologischen Überlegenheit prädestiniert, in diesem Bereich künftig neue Konzepte zu entwickeln und auch breit nutzbar zu machen. Die Frage der Qualifikation von unbemannten Luftfahrzeugen und ihrer Regulierung dürfte daher in Zukunft erheblich an Bedeutung gewinnen.

Die Schweiz verfolgt im Bereich der Drohnenregulation – gemäss Aussagen der Regulierungsbehörde – einen risikobasierten Ansatz. Auf Verordnungsstufe sind diesbezüglich allerdings nur wenige Grundsätze erkennbar. Die VLK bestimmt, dass der Betrieb von Modellluftfahrzeugen, zu denen Drohnen nach schweizerischem Recht zählen, grundsätzlich⁵⁷ nicht bewilligungspflichtig ist, sofern die Luftfahrzeuge nicht ein Gewicht über 30 kg aufweisen und weder in unmittelbarer Nähe (100 m) einer Menschenansammlung noch ohne direkten Sichtkontakt, nicht näher als 5 km von Pisten militärischer oder ziviler Flugplätze und nicht höher als 150 m in einer aktiven Kontrollzone (CTR) betrieben werden (vgl. Art. 17 i.V.m. Art. 14 f. VLK). Während für Ausnahmen von den letzteren beiden Einschränkungen (5-km-Radius und CTR) die jeweilige Flugverkehrsleitung bzw. die Flugplatzleiter zuständig sind, müssen Ausnahmegewilligungen für Flüge im Bereich von Menschenansammlungen sowie Flüge ohne direkten Sichtkontakt (BVLOS) vom BAZL erteilt werden. Das BAZL führt dazu auf seiner Homepage aus, dass die Vorgaben für Ausnahmegewilligungen in der VLK festgelegt seien.⁵⁸ Bei näherer Betrachtung erweist sich diese Aussage jedoch nicht als zutreffend. In der VLK ist im Zusammenhang mit solchen Ausnahmegewilligungen einzig festgelegt, dass

⁵⁶ Unpräzise in diesem Zusammenhang äussert sich auch BAZL 2016, indem dort die Begriffe «unbemannte Luftfahrzeuge» und «Drohnen und Modellflugzeuge» synonym verwendet werden, was angesichts der gesetzlichen Konzeption im Rahmen der VLK nicht korrekt ist. Vgl. auch die Ausführungen in Abschnitt 2.1, wo Hängegleiter, Drachen, Drachenfallschirme, Fesselballone und Fallschirme – zu Unrecht – von den unbemannten Luftfahrzeugen abgegrenzt werden.

⁵⁷ Vorbehalten bleiben selbstverständlich die allgemeingültigen Schranken der Luftfahrt (vgl. Art. 7 ff. LFG).

⁵⁸ Vgl. <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen-und-flugmodelle/bewilligungen-fuer-drohnen.html> – abgerufen am 3. März 2017.

die übrigen Benutzerinnen und Benutzer des Luftraums sowie Dritte am Boden nicht gefährdet werden dürfen. Die gesamte Praxis, die das BAZL entwickelt hat, um zu prüfen, wann eine entsprechende Gefährdung vorliegt oder eben nicht vorliegt, ist nicht gesetzlich (weder auf Gesetzes- noch auf Verordnungsstufe) geregelt. Das Gleiche gilt für die (notwendigen) Bewilligungen für Drohnen (bzw. alle Modellflugzeuge) mit einem Gewicht über 30 kg, für die Artikel 14 Absatz 1 VLK explizit festhält, dass das BAZL die Zulassungsanforderungen und die Betriebsvorschriften im Einzelfall festlegt. Drohnen mit einem Gewicht von weniger als 0.5 kg dürfen überall ohne (sicherheitstechnische) Bewilligung eingesetzt werden (vgl. Art. 17 Abs. 2 VLK).

Wie aus den Informationen des BAZL auf seiner Homepage sowie den bereitgestellten Antragsformularen hervorgeht, müssen im Rahmen von Ausnahmebewilligungen die folgenden Sicherheitsvorkehrungen erfüllt sein:

- Das System muss verhindern können, dass im Fall eines technischen Defekts das Luftfahrzeug unkontrolliert herunterfällt und Personen verletzt oder getötet werden.
- Bei Kontaktverlust mit der Fernsteuerung (Datalink oder Controllink) müssen automatisierte Funktionen eingeleitet werden, die gewährleisten, dass das Luftfahrzeug nicht zu einer Gefahr Dritter am Boden oder in der Luft werden kann.

Zur Prüfung dieser Sicherheitsvorkehrungen verlangt das BAZL ein sogenanntes «Total Hazard and Risk Assessment» und es beschreibt (auf seiner Homepage), was dieses zu enthalten hatte. Grundlage für dieses Assessment bildete bis vor Kurzem die «Guidance for an Authorisation for Low Level Operation of RPAS» (GALLO)⁵⁹. Voraussetzung war im Weiteren, dass der Antragsteller «über Kennt-

⁵⁹ Gemäss inoffiziellen Informationen folgte das BAZL bereits seit einiger Zeit dem Ansatz «Specific Operations Risk Assessment» (SORA), das von den *Joint Authorities for Rulemaking of Unmanned Systems* (JARUS; vgl. dazu Fussnote 61) entwickelt wurde. Während der Erarbeitung der vorliegenden Studie wurden die entsprechenden Informationen auf der Homepage des BAZL angepasst, wobei sich in den gesetzlichen Grundlagen kein Hinweis auf die Vollzugspraxis findet und das BAZL heute lediglich mittels eines Links auf das offenbar stark von den Schweizer Behörden geprägte Dokument von JARUS verweist. Das Konzept und die bis vor Kurzem massgebende Grundlage des schweizerischen Vollzugs GALLO ist inzwischen von der Homepage des BAZL verschwunden.

nisse der in der Luftfahrt üblichen Nachweisführung zur Überprüfung sicherheitsrelevanter Systeme» verfüge. Das bedeutet mit anderen Worten, ein Antragsteller ohne derartige Kenntnisse hatte faktisch keine Möglichkeit, eine Ausnahmegewilligung zu erhalten (so auch BAZL 2016: 15).

Standardisierte Zulassungsvorschriften ausserhalb der vom BAZL (ohne transparente bzw. nachvollziehbare Gesetzesgrundlage) angewendeten Standardverfahren existieren aktuell ebenso wenig wie Lizenzen für Piloten (BAZL-PPAS 2016). Standardverfahren bestehen derzeit für:

- Drohnenbetrieb über geschlossene Menschenansammlungen
- Drohnenbetrieb mit der Leine
- Flüge zur Überwachung und Vermessung
- Professionelle First-Person-View-Rennen

Drohnen mit einem Gewicht über 30 kg bedürfen in jedem Fall einer Bewilligung des BAZL, wobei die zugrundeliegende VLK auch in diesem Bereich bestimmt, dass die Zulassungsanforderungen und Betriebsbedingungen im Einzelfall festgelegt werden.⁶⁰

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sämtliche Verfahren des BAZL zur Prüfung der technischen Sicherheit im Zusammenhang mit zivilen Drohnen auf Einzelfällen (mit Verfahrens- bzw. Bewilligungsdauern von teilweise mehreren Monaten [BAZL 2016: 16]) basieren, was angesichts der erkannten Bedeutung und Entwicklungsmöglichkeiten im Bereich ziviler Drohnen einerseits erstaunlich ist, andererseits das Rechtsgleichheitsgebot und das Legalitätsprinzip übermässig strapaziert. Der einzelne Betroffene kann sich nur schwer einen Überblick verschaffen, welche Anforderungen er im Zusammenhang mit einer beantragten Bewilligung im Bereich ziviler Drohnen erfüllen muss und es ist durch den Regulationsrahmen nicht sichergestellt, dass vergleichbare Sachverhalte immer nach den gleichen inhaltlichen Grundsätzen behandelt werden; der Vollzug bzw. die Erteilung von Bewilligungen von inhaltlich (praktisch) nicht definierten Ausnahmen kann – so gut und kompetent dies auch sein mag – nicht Ersatz für einen verlässlichen regulatorischen Rahmen bilden.

⁶⁰ Vgl. dazu Art. 14 VLK.

Die Delegation von wesentlichen Regulierungsgrundsätzen auf eine Stufe unterhalb einer Departementsverordnung (in diesem Fall der VLK) bedeutet, dass neben vereinzelt Verwaltungsvorschriften⁶¹ ausschliesslich im Vollzug und damit im Einzelfall konkretisiert wird, was gilt, und zwar für den gesamten (weiten) Bereich der Ausnahmen von den gesetzlichen Einschränkungen, mithin den einzigen Bereich, wo dem BAZL überhaupt eine sicherheitsrelevante Aufgabe zukommt. Dies ist unter dem Gesichtspunkt der Rechtssicherheit als kritisch zu werten und es ist zu bezweifeln, ob die Einzelfallfestlegung der Zulassungsanforderungen und Betriebsvorschriften angesichts der offensichtlich grossen (und stetig wachsenden) Nachfrage als sachgerecht und effizient gelten kann. Im Rahmen der vorliegenden Studie kann diese Frage jedoch nicht abschliessend beurteilt werden.

In jüngster Zeit scheint das BAZL die Einteilung der Risikokategorien, wie sie die EASA in ihrem Konzept vorschlägt (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.1.3), als eigenes Konzept zu «beanspruchen» (BAZL 2017), obwohl sich dieser Ansatz weder in öffentlich zugänglichen Informationen des BAZL zu diesem Thema noch in den einschlägigen gesetzlichen Grundlagen findet. Es muss vorliegend daher offenbleiben, wie und mit welchen Instrumenten das BAZL diesen Ansatz heute (angeblich) umsetzt bzw. umsetzen möchte. Als eine der wichtigsten regulatorischen Neuerungen stellte das BAZL anfangs 2016 – auf Basis der Empfehlungen von JARUS⁶² – die Schaffung der rechtlichen Voraussetzungen für eine (freiwillige) Musterzulassung für den Bau von Drohnen in Aussicht, was die Bewilligungsverfahren vereinfachen sollte und den Schweizer Herstellern von Drohnen international bessere Absatzchancen ermöglichen sollte. Solche rechtlichen Voraussetzungen sind bis zum heutigen Zeitpunkt aber noch nicht geschaffen worden bzw. nicht in Kraft getreten.

⁶¹ Vgl. z.B. BAZL, Vereinfachtes Bewilligungsverfahren für den Betrieb mit angebundenen Drohnen, respektive Modellluftfahrzeugen über und um Menschenansammlungen (nicht datiert), sowie BAZL, *Guidance for an Authorisation for Low Level Operation of RPAS*, 2014, die – obwohl grundsätzlich Handlungsanweisung an die Adresse von Antragssteller – auch inhaltliche Anforderungen festlegt (<https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen-und-flugmodelle/bewilligungen-fuer-drohnen.html> – beide Dokumente heruntergeladen am 6. März 2017).

⁶² JARUS ist die 2007 gegründete Vereinigung von Regulierungsexperten verschiedener Länder. Die Abkürzung bedeutet «Joint Authorities für Rulemaking on Unmanned Systems». Obwohl sich das BAZL in seiner externen Kommunikation auf die Zusammenarbeit in JARUS beruft (BAZL 2016: 19) und die Schweiz gemäss JARUS Mitglied ist (vgl. <http://jarus-rpas.org/regulations>; abgerufen am 7. März 2017), findet sich weder in den nationalen gesetzlichen Grundlagen noch auf der Homepage des BAZL ein Hinweis auf diese Organisation und eine Zusammenarbeit der Schweiz in diesem Zusammenhang.

3.3.1.3 Haftungsaspekte

Für Drohnen besteht heute in der Schweiz – wie für alle Luftfahrzeuge – eine gesetzliche Gefährdungshaftung, d.h., die Haftung entsteht unabhängig eines allfälligen Verschuldens rein aufgrund der Betriebsgefahr eines Luftfahrzeuges: Artikel 64 LFG bestimmt, dass durch den Halter des Luftfahrzeuges Ersatz zu leisten ist für Schäden, die von einem im Fluge befindlichen Luftfahrzeug einer Person oder Sache auf der Erde zugefügt werden, sofern feststeht, dass der Schaden entstanden und vom Luftfahrzeug verursacht worden ist. Wie bereits gesehen, sind auch Drohnen Luftfahrzeuge im Sinne der Luftfahrtgesetzgebung (vgl. Abschnitt 2.1.3) und die Haftung folgt daher den allgemeinen Haftungsgrundsätzen des Luftfahrtgesetzes.⁶³

Die Haftungsgrundsätze alleine bieten aber noch keine Gewähr dafür, dass entstandene Schäden auch gedeckt werden. Einerseits kann es – insbesondere im Drohnenbetrieb – möglich sein, dass der Halter im Anschluss an einen Schadenfall nicht eruiert werden kann, da es sich bei der involvierten Drohne bzw. deren Betrieb nicht um einen bewilligungspflichtigen Sachverhalt gehandelt hat und der Verantwortliche versucht, sich seiner Verantwortung zu entziehen. Andererseits ist es möglich, dass der Verantwortliche zwar ausfindig gemacht werden kann, jedoch nicht über die finanziellen Ressourcen oder eine entsprechende Versicherungsdeckung verfügt, dass der entstandene Schaden gedeckt werden kann.

Das Problem der sicheren Identifizierung des Halters einer Drohne ist wohl nur mittels einer Registrierungs- und Kennzeichnungspflicht zu lösen.⁶⁴ Das BAZL arbeitet zwar offensichtlich bereits daran, eine Lösung dürfte aber noch einige Zeit auf sich warten lassen (Haller 2016).

Dem Problem der Bonität eines Haftenden, mithin das Deckungsrisiko eines Schadens, wird im Bereich der Drohnen über 0.5 kg mit dem Erfordernis einer obligatorischen Haftpflichtversicherung über mindestens eine Mio. Franken entgegengetreten.⁶⁵ Während dieses Erfordernis bei einer bewilligungspflichtigen Drohne über 30 kg kontrolliert werden kann, dürfte der Vollzug dieser Vorschrift im Bereich

⁶³ Vgl. dazu Freytag 2016, der allerdings übersieht, dass Drohnen den luftrechtlichen Haftungsgrundsätzen und damit bereits einer Gefährdungshaftung unterliegen.

⁶⁴ Gleicher Meinung auch Hänsenberger 2017: 164, der eine Registrierungs- und Kennzeichnungspflicht für Kleindrohnen ab 0.5 kg befürwortet.

⁶⁵ Vgl. Art. 14 Abs. 2 und Art. 20 VLK.

der nicht bewilligungspflichtigen Drohnen äusserst aufwendig und schwierig sein. Anzumerken bleibt in diesem Zusammenhang auch, dass der Halter einer Drohne unbeschränkt (und nicht nur bis zur Summe seiner obligatorischen Haftpflichtdeckung) haftet, wenn der Pilot z.B. die Drohne entwendet hat.⁶⁶

Noch weitgehend ungeklärt ist die Frage, wer gestützt auf welche Grundlagen und in welchem Ausmass für Schäden haftet, die Drohnen in der Luft verursachen; z.B. wenn sie mit einem Linienflugzeug kollidieren und einen Triebwerkschaden verursachen, ohne dass das Flugzeug abstürzt. Das Luftfahrtgesetz gibt darauf keine Antwort und eine Zuhilfenahme der ausservertraglichen Verschuldenshaftung von Artikel 41 des Obligationenrechts scheint jedenfalls kein adäquates Pendant zur übrigen luftfahrtrechtlichen Gefährdungshaftung (gemäss Art. 64 ff. LFG) zu sein.

Ebenfalls zum Themenbereich technische Sicherheit gehört schliesslich die Kommunikation zwischen dem Piloten und seiner Drohne via Funkverbindung und die zugrundeliegende fernmelderechtliche Problematik. Jeder Anwendungsbereich von Drohnen erfordert den Einsatz von Frequenzressourcen und bis heute ist der Steuerung ziviler Drohnen keine eigene Frequenz zugewiesen (im nationalen Frequenzzuweisungsplan); das bedeutet, dass die von Drohnenpiloten genutzten Frequenzen auch von anderen Anwendungen (z.B. WLAN) genutzt werden und zudem über einen beschränkten räumlichen Anwendungsbereich verfügen. Gemäss Informationen des Bundesamts für Kommunikation (BAKOM) wird diese offenbar nicht selten von Anwendern ignoriert, indem Drohnen aus dem Ausland bestellt werden, die in der Schweiz aus fernmelderechtlichen Gründen gar nicht betrieben werden dürfen. In diesem Zusammenhang besteht daher offenkundig eine Vollzugsproblematik.

Gemäss Angaben des BAKOM muss eine Drohne weitere Anforderungen bezüglich Spektrum und elektromagnetischer Verträglichkeit zum Schutz des Frequenzspektrums einhalten. So müssten Drohnen das Frequenzspektrum effizient nutzen, um Störungen zu vermeiden bei gleichzeitiger Gewährleistung eines angemessenen Niveaus der elektromagnetischen Verträglichkeit, was aus der Verordnung über Fernmeldeanlagen (FAV; SR 784.101.2), dem Schweizer Gegenstück der «Funkanlagen Richtlinie» der EU (Richtlinie 2014/53/EU) folge. Es können –

⁶⁶ Art. 65 LFG i.V.m. Art. 70 LFG (Drohnen können heute nicht gemäss Art. 3 LFV im schweizerischen Luftfahrzeugregister eingetragen werden; vgl. dazu auch Hänsenberger 2017: 168).

ebenfalls gemäss BAKOM – aber auch weitere Vorschriften für Drohnen anwendbar sein, wie z.B. die Richtlinie «Maschinen» (Richtlinie 2006/42/EG), die derzeit in der EU für Drohnen unter 150 kg anwendbar ist; die Richtlinie «Restriction of the use of certain hazardous substances in electrical and electronic equipment» (RoHS, Richtlinie 2011/65/EU), die zum Ziel hat, gefährliche Substanzen in elektrischen und elektronischen Anlagen zu limitieren, sowie die Richtlinie «Waste Electrical and Electronic Equipment» (Richtlinie 2012/19/EU) mit dem Ziel, das Lebensende von elektrischen und elektronischen Anlagen zu regulieren.

3.3.1.4 Internationale Aspekte

Das internationale Regelwerk im Zusammenhang mit zivilen Drohnen ist schwer durchschaubar. Dies liegt einerseits daran, dass der rechtliche Status wesentlicher Akteure wie beispielsweise der JARUS nicht vollständig geklärt und transparent ist. Die Schweiz arbeitet – gemäss Aussagen der Spezialisten der Bundesbehörden – aktiv in diesem im Jahr 2007 gegründeten Gremium mit, während der rechtliche Rahmen dieser Bestrebungen weder auf gesetzlicher noch auf Verwaltungsverordnungsstufe geregelt ist. Trotz fehlender Verankerung im nationalen Regulator kommt den Bestimmungen bzw. Ansätzen von JARUS jedoch auch im schweizerischen Vollzug offenbar grosse Bedeutung zu.⁶⁷

Der EASA fehlt auf der anderen Seite aus heutiger Sicht noch die Kompetenz, im Bereich der Drohnen unter 150 kg gesetzgeberisch überhaupt aktiv zu sein. Ob der jüngste Entwurf der EASA (EASA 2016), der ebenfalls Vorarbeiten von JARUS implementiert, zu verpflichtendem EU-Recht wird oder lediglich Vorschläge zuhanden der nationalen Rechtsetzungsinstanzen bilden wird, kann aus heutiger Sicht nicht mit Gewissheit beantwortet werden. Dem Vernehmen nach soll die dafür erforderliche Revision der *Basic Regulation* im ersten Halbjahr 2018 abgeschlossen sein (gemäss Aussage BAZL).

In Erfüllung ihres Auftrags der Europäischen Kommission (Zeitschrift für Europarecht 2014) hat die EASA im August 2016 die inhaltliche Stossrichtung ihres Regulierungsvorschlags präsentiert. Sie verfolgt das Konzept von drei unterschiedlichen Risikokategorien (Open – Specific – Certified), die je eigene Regulierungs-

⁶⁷ Vgl. dazu die Ausführungen zu SORA in Fussnote 58.

erfordernisse aufweisen und die von JARUS übernommen wurden. Jede Risikokategorie weist dabei wiederum Unterkategorien auf (siehe Abbildung 13 auf der Folgeseite).

Wesentliche Grundlage für die verschiedenen Risikobetrachtungen bildete die Zuordnung kinetischer Energien im Zusammenhang mit dem Betrieb ziviler Drohnen zur Wahrscheinlichkeit von Todesfolgen für Personen⁶⁸ (nur im Bereich *Open Category*). Je nach Risikokategorie und Unterkategorie sind verschiedene Massnahmen (wie z.B. Geräte- und Operationslimitierungen, Typenprüfungen [CE], Geofencing, elektronische Registrierung, Pilotenanforderungen, Zertifizierungen) vorgesehen bzw. notwendig.

Aufgrund zahlreicher offener Fragen und Kritikpunkte im Zusammenhang mit dem EASA-Vorschlag ist der europäische Normgebungsprozess offenbar etwas ins Stocken geraten. Insbesondere Modellflieger (aber nicht nur diese) bezweifeln die Angemessenheit verschiedener Regeln bezüglich der Drohnen, die eben auch auf die von der EASA begrifflich nicht unterschiedenen Modellluftfahrzeuge anzuwenden wären.⁶⁹ Es ist zum heutigen Zeitpunkt offen, ob und in welcher Form der EASA-Vorschlag zu verbindlichen Normierungen führen wird. Mit einer Einführung im laufenden Jahr (2017) ist auf EU-Stufe wohl nicht zu rechnen (wobei auch nach Inkrafttreten verschiedene Übergangsfristen für einzelne Regelungen vorgesehen sein werden). Es kann nicht Aufgabe der vorliegenden Studie sein, spezifische technische Fragen in diesem Zusammenhang zu erörtern und verschiedene mögliche Lösungswege gegeneinander abzuwägen; die interessierten Stakeholder (Benutzer, Verbände, Produzenten usw.) sind im eigenen Interesse gehalten, in diesem Prozess ihre Anliegen einzubringen und damit zu einer ausgewogenen Regulierung beizutragen. So wurde von der EASA eigens zu diesem Zweck auch eine Expertengruppe eingesetzt.

⁶⁸ Im Rahmen der sogenannten «Abbreviated Injury Scale» (AIS).

⁶⁹ Eine Spezialregelung betreffend Modellflieger ist gemäss dem EASA-Entwurf nur für Modellflugvereine und entsprechende Aktivitäten auf spezifizierten Geländen vorgesehen (vgl. Art. 15 der *Prototype Regulation*).

Aufgrund von Verweisen in der VLK sind bereits heute europäische Verkehrsregeln (SERA⁷⁰) im Drohnenflug zu beachten. Internationale Haftungsnormen für Drittschäden fehlen indessen (Hänsenberger 2017: 165).



Abbildung 13: Von der EASA vorgeschlagene Kategorisierung (Quelle: EASA 2015b: 18).

Grundlage für die Übernahme vieler luftrechtlicher Bestimmungen der EU bildet in der Schweiz das sogenannte Luftverkehrsabkommen.⁷¹ Während viele Bestimmungen der EU aufgrund des diesem Abkommens eigenen Übernahmemechanismus automatisch in der Schweiz gelten, kann dieser Grundsatz für die Übernahme eines neuen Regelwerks betreffend zivile Drohnen nicht per se als zwingend betrachtet werden.⁷²

⁷⁰ Standardised European Rules of the Air; anwendbar im Bereich der Drohnen sind aufgrund der Verweise in Art. 14a Abs. 2 lit. a und Art. 14b Abs. 2 lit. a VLK die SERA 3101, 3115, 3120 und 3145 der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 932/2012.

⁷¹ Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Luftverkehr vom 21. Juni 1999 («Luftverkehrsabkommen»; SR 0.748.127.192.68).

⁷² Wie dies offenbar der SVZD macht (vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=BNTQYEXtYMs> – abgerufen am 28. März 2017). In diesem Zusammenhang ist insbesondere Artikel 23 des Luftverkehrsabkommens zu beachten.

Um die für Drohnen zukünftig vorgesehenen Anwendungen zu gewährleisten sowie die möglichen Anforderungen im Bereich Flugverkehrsmanagement und Flugsicherungsdienste sicherzustellen, sind die notwendigen Verfügbarkeiten des Frequenzspektrums von grösster Wichtigkeit. Technischer Fortschritt und der jeweilige geplante Zeitrahmen werden in Abhängigkeit der nationalen (im Rahmen des nationalen Frequenzzuweisungsplans), europäischen (im Rahmen des *European Frequency Allocation Table* der Europäischen Konferenz der Verwaltungen für Post und Fernmeldewesen [CEPT]) und globalen (im Rahmen des Radioreglementes der International Telecommunication Union [ITU]) Harmonisierung der Frequenznutzung stehen. Das BAKOM vertritt die Schweiz heute in den zuständigen internationalen Gremien mit dem Ziel, die nationalen Interessen und Bedürfnisse regional und global einzubringen. Diese Harmonisierung der Frequenznutzung, die im internationalen Kontext steht, wird entsprechend definierter Prozessabläufe innerhalb der verschiedenen Organisationen wie ITU und CEPT erarbeitet und im regelmässigen Zyklus von drei bis vier Jahren an der Weltfunkkonferenz (ITU-WRC) verhandelt.

3.3.1.5 Zwischenfazit

Die Idee eines risikobasierten Ansatzes, wie er sowohl auf nationaler wie auch internationaler Ebene verfolgt bzw. stipuliert wird, erscheint grundsätzlich sinnvoll. Die Beurteilung, ob eine spezifische Risikobasierung aus rechtlicher Perspektive als verhältnismässig erscheint, muss aber anhand nachvollziehbarer (und selbstverständlich geeigneter) Kriterien beurteilt werden können.

Der risikobasierte Ansatz der Schweiz besteht heute einerseits aus der Kategorisierung via Gewicht einer Drohne sowie dem Risiko einzelner Einsatzarten. Ab einem gewissen Gewicht (> 30 kg) oder im Rahmen bestimmter Einsätze (BVLOS und Betrieb in der Nähe von Menschenansammlungen und Flugplätzen) sind Bewilligungen erforderlich. Solche Bewilligungen sind heute ausnahmslos Gegenstand von Einzelfallentscheidungen des BAZL; die anwendbaren Kriterien entstammen heute zwar dem *Total Hazard and Risk Assessment* SORA, sind aber weder auf Verordnungsstufe enthalten noch überhaupt generell abrufbar. Dies mag vor dem Hintergrund einer dynamischen Entwicklung im Drohnenbereich Vorteile aufweisen. Aus rechtsstaatlicher Sicht überzeugt die aktuelle Regulierung im Bereich technische Sicherheit nicht, da sämtliche inhaltlichen Entscheide auf Vollzugsebene getroffen werden. Im dynamischen Bereich der zivilen Drohnen muss

dem Legalitätsprinzip ein grösserer Stellenwert eingeräumt werden und die gesetzlichen Grundlagen sollten zumindest die wesentlichen Anforderungen definieren.

Auf europäischer Ebene soll neu ebenfalls ein risikobasierter Ansatz verfolgt bzw. als verbindlich erklärt werden. Die Konturen der neuen EU-Regelung liegen zwar vor, die diesbezüglichen Meinungsunterschiede bei den involvierten Akteuren scheinen aber noch beträchtlich. Es wird sich zeigen, ob und welche Regeln die EU im Bereich ziviler Drohnen als verbindlich erklären wird. Klar erscheint in diesem Zusammenhang, dass die Schweiz zwar rechtlich vorerst nicht verpflichtet sein wird, entsprechende EU-Normen zu übernehmen, eine weitgehende Übernahme indessen aufgrund wesentlicher Gesichtspunkte (insbesondere eines einheitlichen europäischen Drohnenmarkts und damit zusammenhängenden Perspektiven für Anbieter und Nutzer) als empfehlenswert erscheint. Die Handlungsspielräume, die der Schweiz dabei zur Verfügung stehen, können erst nach Vorliegen der entsprechenden EU-Regelung beurteilt werden. So dürfte es angezeigt sein, einzelne produktspezifische Anforderungen strikte zu übernehmen, bei anderen Limitierungen hingegen den nationalen Spielraum für abweichende Lösungen unter Abwägung der verschiedenen Interessen optimal auszunützen.

3.3.2 Persönlichkeits- und Datenschutz

Der Betrieb ziviler Drohnen kann die Persönlichkeitsrechte verschiedener Betroffener auf verschiedenste Weise tangieren, sei es, dass eine systematische Informationsbeschaffung geradezu Zweck von Drohnenflügen bildet, sei es, dass die Verletzung von Persönlichkeitsrechten zwar nicht beabsichtigt, aber halt doch im Zusammenhang mit einem Drohnenflug verursacht wird. Zu unterscheiden sind Verletzungen der Persönlichkeit und besitzschutzrechtliche Aspekte, wo ein rechtlicher Schutz aufgrund von Beziehungen von Personen zu Sachen oder Grundstücken im Vordergrund steht (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.3.3); beide Bereiche können indessen gerade im Bereich der geschützten Privatsphäre Überschneidungen aufweisen.

Eine zentrale Herausforderung im Themenkreis Persönlichkeits- und Datenschutz ziviler Drohnenflüge besteht in der Strukturierung und Kategorisierung verschied-

dener Drohnenbetriebsarten und Verwendungszwecke. Nur wenn strukturierte Anwendungsfelder abgesteckt und verstanden werden, kann eine Annäherung an die rechtliche Frage stattfinden, welche individuell geschützten Rechte im Rahmen solcher Betriebsarten allenfalls verletzt werden und in welchen Rechtsgrundlagen und mit welchen Massnahmen dagegen vom einzelnen Betroffenen Schutz zu suchen ist. Trotz Kategorisierung ist immer (auch) der individuell-konkrete Anwendungsfall zu betrachten; gerade im Bereich von Rechtfertigungsgründen und Interessenabwägungen gelingt es in der Regel auf einer generell-abstrakten Ebene nicht, allgemeingültige Aussagen zu rechtlichen Implikationen zu machen.

Die weitreichende Thematik der informationellen Selbstbestimmung (vgl. kritisch: Albers 2005), die im Zug der Digitalisierung bereichsübergreifend gegenwärtig im Fokus vieler wissenschaftlicher Arbeiten und Überlegungen steht, kann verständlicherweise im Rahmen der vorliegenden Studie nicht im Detail behandelt werden.⁷³ Klar erscheint, dass Bestand und Umfang einer informationellen Selbstbestimmung auch im Zusammenhang mit zivilen Drohnenflügen regelmässig ein breites Interesse erwecken. Die technischen Möglichkeiten ziviler Drohnen schaffen zwar keine grundsätzlich neuen Methoden der Datenbeschaffung, verleihen diesen aber eine Dynamik, die so bisher nicht bestand.

3.3.2.1 Regulierungsobjekt

Um welche Sachverhalte mit Bezug zu zivilen Drohnen geht es in den Bereichen Persönlichkeits- und Datenschutz? Vor welchen Beeinträchtigungen sollen die Menschen geschützt werden und in welchem Umfang soll dies geschehen? Zunächst stehen in diesem Zusammenhang Anwendungsarten ziviler Drohnen im Vordergrund, die Persönlichkeitsrechte Dritter verletzen und/oder dem Datenschutz zuwiderlaufen können. Der Einfachheit halber wird vorliegend der Versuch unternommen, die relevanten Betriebsarten bzw. Anwendungsbereiche ziviler Drohnen in vier Kategorien zu unterteilen: Reinen Hobbyanwendungen stehen Beobachtungsflüge zu verschiedenen Zwecken gegenüber (z.B. im Zusammenhang mit Überwachung, Medien, Ausspionieren), andere kommerzielle Nutzungen (z.B. Lieferservice oder Vermessung) können ebenfalls als eigene Kategorie betrachtet werden, die Sammlung von Daten (in verschiedenen Formen und Ausprägungen) schliesslich ist wohl der Hauptgrund dafür, dass die Verletzung der Privatsphäre

⁷³ Für eine sehr gute Übersicht über die Entwicklung und die «wachsende Kluft zwischen Anspruch und Wirklichkeit» vgl. Belser 2013.

als das meistgenannte Risiko in der Analyse der Schweizer Medien auftauchte.⁷⁴ Zwischen den einzelnen Anwendungskategorien sind zweifellos auch Überschneidungen denkbar.

3.3.2.2 Schweizerische Regulierung

Die schweizerische Bundesverfassung (BV) weist im Wesentlichen drei Bestimmungen auf, die sich mit der Thematik befassen: Zunächst garantiert Artikel 10 Absatz 2 BV «das Recht auf persönliche Freiheit, insbesondere auf körperliche und geistige Unversehrtheit und auf Bewegungsfreiheit». Darunter sind elementare Erscheinungen der Persönlichkeitsentfaltung zu zählen. Der Staat hat dies einerseits in seinem eigenen Handeln zu beachten und andererseits auch dafür zu sorgen, dass alle Personen vor diesbezüglichen Gefahren moderner Technik wie z.B. Beeinträchtigungen durch zivile Drohnen geschützt werden. Artikel 13 BV schützt demgegenüber die Privatsphäre im Allgemeinen (Absatz 1) sowie den Missbrauch persönlicher Daten (Absatz 2). Der Anspruch auf Achtung der Privatsphäre gemäss Artikel 13 Absatz 1 «gewährleistet einen Raum für die private Lebensgestaltung, der vom Staat geachtet und vor unerwünschten Einwirkungen geschützt wird» (Belser 2013: 31). Dabei hat der Staat dafür zu sorgen, dass auch private Akteure diesen Schutz zu respektieren haben. Der Gehalt von Artikel 13 Absatz 2 BV ist in der Lehre umstritten. Insbesondere wird in diesem Zusammenhang diskutiert, wieweit daraus ein informationelles Selbstbestimmungsrecht anstatt eines ausschliesslichen Missbrauchsschutzes abgeleitet werden kann. Diese Diskussion wird generell – nicht spezifisch im Zusammenhang mit der Anwendung ziviler Drohnen – diskutiert und soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden.

Die gesetzlichen Grundlagen im Bereich des Schutzes des Persönlichkeits- und Datenschutzes finden sich einerseits in Artikel 28 ff. des schweizerischen Zivilgesetzbuches (ZGB). Das ZGB konkretisiert Artikel 10 und 13 der Bundesverfassung, indem physische, psychische und soziale Schutzbereiche von Artikel 28 ff. umfasst werden; insbesondere das Recht am eigenen Bild und das Recht auf Achtung der Privatsphäre stehen dabei im Zusammenhang mit zivilen Drohnenflügen im Fokus. Das ZGB regelt nicht nur den inhaltlichen Schutz bzw. den Umfang der tatsächlich geltenden Rechte, es stellt auch ein Instrumentarium an Durchsetzungsmöglichkeiten zur Verfügung. Der wesentliche Mangel ist allerdings, dass

⁷⁴ Andere Autorinnen, wie beispielsweise Schefer 2014, unterscheiden zwischen Besichtigungen, Lieferservice, visueller und virtueller Überwachung sowie der Sammlung von aggregierten Daten.

die Urheberschaft der Verletzung der Persönlichkeit bekannt sein muss. Ist dies nicht der Fall – wie dies beispielsweise im Rahmen nicht registrierter ziviler Drohnenflüge regelmässig der Fall sein dürfte –, wird die tatsächliche Durchsetzung des inhaltlichen (gesetzlichen) Schutzes unrealistisch, unabhängig davon, dass sogar strafrechtliche Schutzbestimmungen bestehen.⁷⁵

Das Datenschutzgesetz⁷⁶ auf der anderen Seite bezweckt den Schutz der Persönlichkeit und der Grundrechte von Personen, über die Daten bearbeitet werden (vgl. Art. 1 DSG). Es findet insbesondere dann Anwendung, wenn Daten natürlicher oder juristischer Personen durch Bundesorgane oder durch Private nicht ausschliesslich zum persönlichen Gebrauch bearbeitet werden (Art. 2 Abs. 2 lit a DSG); in anderen Fällen ist das Datenschutzgesetz grundsätzlich nicht anwendbar.⁷⁷ Das Datenschutzrecht basiert auf weite Strecken auf dem Prinzip möglicher Einwilligungen von Personen, deren Datenschutz möglicherweise verletzt wird, was seinerseits die datenschutzrechtlichen Prinzipien der Zweckbindung, der Transparenz und der Verhältnismässigkeit einer Datenerhebung und -bearbeitung voraussetzt (Weber 2016: 11–13). Letztlich geht es bei der Beurteilung der Rechtmässigkeit eines konkreten Vorganges immer um eine Interessenabwägung: Wie ist das Interesse der Behörde oder des Privaten an der Sammlung und Bearbeitung von Personendaten im Verhältnis zum Schutzbedürfnis der Betroffenen zu gewichten? Eine solche Gewichtung kann ausschliesslich in einem konkreten Anwendungsfall tatsächlich vorgenommen werden, was gleichzeitig eine gewisse Ohnmacht des aktuellen Datenschutzes offenbart. Ist sich nämlich eine betroffene Person gar nicht bewusst, dass ihre Daten im Rahmen eines zivilen Drohnenfluges erhoben, gespeichert und womöglich nachträglich bearbeitet werden, entfällt auch eine entsprechende Interessenabwägung – unabhängig davon, ob der Zweck den Eingriff in die Privatsphäre rechtfertigt oder nicht. Aus diesem Grund stehen im Zusammenhang mit zivilen Drohnenflügen vorbeugende Massnahmen vermehrt im Zentrum des Interesses bzw. der Regulierungsforderungen; nur wenn Massnahmen bestehen, die bereits im Vorfeld einer drohenden Verletzung datenschutzrechtlicher Bestimmungen greifen, können solche Verletzungen möglicherweise auch vermieden werden. Eine sogenannte Datenschutz-Folgeabschätzung kann

⁷⁵ Vgl. dazu Meili 2015, der freilich dem Vollzug bzw. der tatsächlichen Durchsetzung keine Beachtung zukommen lässt.

⁷⁶ Bundesgesetz über den Datenschutz vom 19. Juni 1992 (DSG; SR 235.1).

⁷⁷ Zum Ausnahmekatalog vgl. Art. 2 Abs. 2 DSG; dies schliesst natürlich nicht aus, dass entsprechende Aktivitäten im Zusammenhang mit zivilen Drohnenflügen von anderen Rechtsnormen wie beispielsweise dem Persönlichkeitsschutz bzw. dem Schutz der Privatsphäre erfasst werden.

vorgenommen werden (Privacy Impact Assessment), um Datenschutzrisiken bereits vor einem Einsatz ziviler Drohnen zu erkennen (Weber 2016: 15). Bei kommerziellen Drohneneinsätzen kommt zudem der internen Organisation und der entsprechenden Governance der Unternehmen eine entscheidende Bedeutung im Bereich des Datenschutzes zu, d.h., Unternehmen, die professionell und kommerziell Daten erheben, sammeln und bearbeiten, sind gehalten, ihre Prozesse so zu definieren, dass die geltenden materiellen Prinzipien im Datenschutz eingehalten werden.

Das Datenschutzgesetz befindet sich aktuell in Revision. Im erläuternden Bericht zum Vorentwurf für das Bundesgesetz über die Totalrevision des Datenschutzgesetzes und die Änderung weiterer Erlasse des Datenschutzes des Bundesamts für Justiz vom 21. Dezember 2016 finden sich die beabsichtigten Stossrichtungen der Revision. Die entsprechende Botschaft wurde inzwischen am 15. September 2017 durch den Bundesrat verabschiedet.⁷⁸ Es wird sich im Rahmen der parlamentarischen Debatte zeigen, inwiefern den vorbeugenden Massnahmen des Datenschutzes eine stärkere Rolle zukommen wird. Immerhin ist es erklärtes Ziel der Revision, den Datenschutz zu stärken und an die veränderten technologischen und gesellschaftlichen Verhältnisse anzupassen⁷⁹ und dabei auch die Voraussetzungen zu schaffen für eine Ratifikation der Datenschutzkonvention des Europarates und eine Übernahme der EU-Richtlinie über den Datenschutz im Bereich der Strafverfolgung.

Im sogenannten Google-Street-View-Entscheid des Bundesgerichts⁸⁰ werden einige Grundsätze zur privaten systematischen Datensammlung und -bearbeitung festgehalten, die ohne Weiteres auch auf verschiedene Drohneneinsätze angewendet werden können. So wird in diesem Entscheid klargestellt, dass trotz der Gefahr von Persönlichkeitsverletzungen systematische Datensammlungen und -bearbeitungen durch Private nicht grundsätzlich verboten sind, sondern dass mit geeigneten Massnahmen (Ankündigungen, sogenanntes «blurring», d.h. Unkenntlichmachung u.a.m.) dafür gesorgt werden muss, dass der Einzelne hinreichend geschützt wird. Die Weiterentwicklung vieler Grundsätze bleibt (auch für zivile

⁷⁸ Vgl. dazu die Medienmitteilung des Bundesrats auf: https://www.bj.admin.ch/bj/de/home/aktuell/news/2017/ref_2017-09-150.html – abgerufen am 3. November 2017.

⁷⁹ Vgl. die entsprechende Medienmitteilung des Bundesrats vom 21. Dezember 2016 auf https://www.bj.admin.ch/bj/de/home/aktuell/news/2016/ref_2016-12-21.html – abgerufen am 25. Juli 2017

⁸⁰ BGE 138 II 346.

Drohneneinsätze) der Rechtsprechung überlassen. Gefordert im Zusammenhang mit solchen Schutzmassnahmen ist aber nicht zuletzt auch der Gesetzgeber.⁸¹

Der Eidgenössische Datenschutz- und Öffentlichkeitsbeauftragte (EDÖB) hat sich ebenfalls bereits zu zivilen Drohnen geäussert. So fasst er die allgemeinen Datenschutzgrundsätze im Zusammenhang mit dem Einsatz ziviler Drohnen auf seiner Webseite zusammen⁸² und hat ein eigenständiges Merkblatt zur Videoüberwachung durch private Personen erlassen und in diesem Zusammenhang verschiedene einzuhaltende Prinzipien statuiert (Husi 2014). Die Haltung des EDÖB im Zusammenhang mit Drohnen ist allerdings auch bereits als zu streng kritisiert worden (Rosenthal 2015: 579).

Der Schutz der einzelnen Menschen und der Allgemeinheit als Ganzes vor möglichem Datenmissbrauch wird insbesondere angesichts des raschen technischen Fortschritts auch künftig zu den zentralen Herausforderungen gehören. Gerade die Verknüpfungsmöglichkeiten unter modernen Technologien schaffen ungeahnte Möglichkeiten, Daten als Ressource zu nutzen, sei es für den Staat, sei es für Private. Die Diskussion, wie ein vernünftiger Schutz in diesem Zusammenhang aussehen soll und zu konzipieren ist, geht weit über die Anwendungsbeispiele ziviler Drohnen hinaus. Der Forderung, dass es nicht dem Einzelnen überlassen bleiben soll, wieweit er sich gegen allfällige Verletzungen zur Wehr setzen und allenfalls seine Zustimmung explizit verweigern muss (Belser 2013: 43–45), sondern der Gesetzgeber aktiv die Grenzen von potenziell Persönlichkeits- und Datenschutz gefährdenden Aktivitäten zu ziehen hat, ist vorbehaltlos zuzustimmen.

3.3.2.3 Internationale Aspekte

Der Datenschutz im Zusammenhang mit den Einsatzmöglichkeiten ziviler Drohnen ist selbstverständlich nicht nur in der Schweiz, sondern auch international ein breit diskutiertes Thema. Wie bereits ausgeführt, möchte die Schweiz im Zuge der anstehenden Totalrevision des Datenschutzgesetzes die Voraussetzungen für eine Angleichung an europäische Grundlagen schaffen. An dieser Stelle sollen lediglich die wesentlichsten Aspekte der internationalen Entwicklung in diesem Bereich

⁸¹ Für aus dem Google-Street-View-Entscheid abgeleitete Forderungen im Bereich ziviler Drohneneinsätze vgl. Schefer (2014), die ein komplexes Register als Lösungsansatz betrachtet.

⁸² Siehe dazu <https://www.edoeb.admin.ch/datenschutz/00625/00729/01171/01326/index.html> – abgerufen am 25. Juli 2017.

angesprochen werden, denn letztlich ist konkreter (insbesondere vorbeugender) Datenschutz im Zusammenhang mit lokalen zivilen Drohnenflügen eine örtlich begrenzte Angelegenheit.

Das internationale Pendant zum nationalen Schutz der Persönlichkeit und der Privatsphäre stellt in Europa Artikel 8 der Europäischen Menschenrechtskonvention (EMRK) dar, der das Recht auf Achtung des Privat- und Familienlebens zum Inhalt hat. Die einschlägige Rechtsprechung durch den Europäischen Gerichtshof für Menschenrechte dazu ist gross und vielfältig (Schefer 2014).

Die US-amerikanische Behandlung dieser Thematik schliesslich basiert ausschliesslich auf dem für angelsächsische Rechtskreise typischen Case Law, d.h. auf konkreten Gerichtsentscheiden. Auf diese Kasuistik wird im Rahmen der vorliegenden Studie nicht eingegangen.

Gestützt auf die Richtlinie 95/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Oktober 1995 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr (Artikel 29) wurde eine Datenschutzgruppe eingesetzt. Diese Datenschutzgruppe hat im Zusammenhang mit zivilen Drohnen eine Stellungnahme veröffentlicht (Data Protection Working Party 2015). Darin werden verschiedene Forderungen an die Adresse der nationalen und auch des EU-Gesetzgebers sowie an die Adresse von Hersteller und auch Betreibern formuliert, um die Datenschutzrisiken im Zusammenhang mit zivilen Drohnen beherrschbar zu halten.

3.3.2.4 Zwischenfazit

Die Risiken der aktuellen Drohnenutzung in der Schweiz erscheinen überschaubar und die materiellen Schutzbestimmungen der Verfassung und der relevanten Bundesgesetze im Grundsatz als ausreichend. Die Rechtsprechung und auch die wissenschaftliche Lehre ist laufend damit beschäftigt, den Umfang und die Grenzen eines informationellen Selbstbestimmungsrechts auszuloten und weiterzuentwickeln; diese Bestrebungen sind bereichsübergreifend und grundsätzlich unabhängig von der Nutzung ziviler Drohnen, können und müssen aber selbstverständlich in diesem Bereich ebenfalls anhand konkreter Fragestellungen weitergeführt werden. Dazu braucht es aber keine zusätzlichen Massnahmen; der Rechtsstaat

bildet Garant für die Definition der Grundsätze und Grenzen der Privatsphäre und des Datenschutzes.

Mängel bestehen aktuell bei der konkreten Durchsetzung. Obwohl zivile Drohnen funktional meist nicht mehr sind als Kameras und andere bereits bestehende Überwachungsinstrumente (auch wenn sie bisweilen sehr viel effizienter agieren können), stehen der Durchsetzung materieller Schutzansprüche oft unlösbare Hindernisse gegenüber. Bei anonymen Drohneneinsätzen nicht registrierter Drohnen wird es einer in ihrer Privatsphäre oder in ihren datenschutzrechtlichen Ansprüchen verletzten Person in der Regel unmöglich sein, wirksam dagegen vorzugehen. Diese Situation ist aus rechtsstaatlicher Sicht unbefriedigend und eigentlich nur mittels vorbeugender Schutzmassnahmen (wie z.B. einem Drohnenregister) lösbar. Der Prüfung der Machbarkeit einer solchen Massnahme muss dabei selbstverständlich höchste Priorität zukommen; schliesslich sollte der administrative Aufwand (insbesondere im Zusammenhang mit kleinen Drohnen) in einem vernünftigen Verhältnis zum damit verfolgten Zweck stehen. Ob es im Rahmen der laufenden Totalrevision des Datenschutzgesetzes gelingt, die Voraussetzungen für ein wirksames präventives Instrumentarium zu schaffen, bleibt abzuwarten. Jedenfalls sollte die Situation nach Vorliegen der entsprechenden Gesetzesentwürfe neu beurteilt werden.

3.3.3 Eigentums- und Besitzschutz

3.3.3.1 Regulierungsobjekt

Drohnen fliegen entweder über öffentlichem Grund oder aber über privaten Grundstücken. Die Zulässigkeit des Betriebs über öffentlichem Grund ist einerseits von der Zonenkonformität und – soweit es sich um behördliche Einsätze handelt – auch von einer genügenden gesetzlichen Grundlage abhängig. Über privatem Grund gestaltet sich die Ausgangslage in verschiedener Hinsicht anders: Einerseits kann der Drohnenbetreiber selbst als Eigentümer oder Besitzer eines Grundstückes – in den Schranken der rechtlichen Ordnung – selbst bestimmen, was er im Zusammenhang mit dem Betrieb ziviler Drohnen anstellt und was nicht. Auf der anderen Seite wird der Eigentümer oder Besitzer durch sachenrechtliche Instrumente gegen unrechtmässige Störungen geschützt. Vorliegend ist zu bestimmen, wieweit sich der Umfang des Eigentums und der Anspruch auf ungestörten Besitz

erstreckt und welche Hilfsmittel zur Verfügung stehen, um sich gegen eine Überschreitung dieser Grenzen durch zivile Drohnen zu wehren.

3.3.3.2 Schweizerische Regulierung

Inhalt und Schutz des Eigentums und des Besitzes sind in der Schweiz im Wesentlichen im Schweizerischen Zivilgesetzbuch geregelt. Worin unterscheiden sich Eigentum und Besitz? Unter Eigentum versteht der Jurist das Recht, über eine Sache zu verfügen und jede ungerechtfertigte Einwirkung abzuwehren (vgl. z.B. Art. 641 ZGB); es ist ein umfassendes, sogenanntes dingliches Recht an einer Sache, das gegenüber jedermann gilt. Demgegenüber beschreibt der Besitz die faktische Herrschaft über eine Sache (vgl. Art. 919 ZGB); so ist z.B. der Mieter eines Hauses zwar der Besitzer, nicht aber der Eigentümer. Über hundert Bestimmungen des Zivilgesetzbuches widmen sich dem Eigentum und seinen verschiedenen Ausprägungen; der Besitz und insbesondere die Massnahmen zum Besitzschutz sind im gleichen Erlass ebenfalls ausführlich geregelt (vgl. Art. 919 ff. ZGB).

Sowohl Eigentümer wie auch Besitzer haben verschiedene Möglichkeiten, sich gegen eine Störung zur Wehr zu setzen (mittels Eigentumsfreiheitsklagen, Klagen aus Besitzesstörung, gerichtlicher Verbote⁸³, Schadenersatzforderungen usw.). Die zur Verfügung stehenden Verfahren sind in der Regel ausführlich und klar geregelt; auf diese verfahrensrechtlichen Aspekte, die komplex und vielfältig sind, wird vorliegend nicht näher eingegangen. Inhaltlich stehen andere Fragen im Vordergrund, namentlich was überhaupt als unzulässige Einwirkung ziviler Drohnen auf Eigentum und Besitz gelten muss. In diesem Zusammenhang ist auch zu klären, wieweit sich der Schutz von Eigentum und Besitz örtlich erstreckt (insbesondere vertikal). Schliesslich muss vorliegend auch das Thema eigenmächtige Abwehr von Einwirkungen (Selbsthilferecht) behandelt werden.

Drohnen überfliegen regelmässig privates Grundeigentum. Auch unabhängig von der Beurteilung der Zulässigkeit bzw. der Grenze von Lärmemissionen einer Drohne und den mit einem Drohnenflug möglicherweise verbundenen Persönlichkeitsverletzungen (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 3.3.2) stellt sich die Frage, inwieweit Überflüge generell aus sachenrechtlicher Perspektive zu dulden

⁸³ Vgl. zu diesem Instrument im Details Kettiger 2016, der sich allerdings nicht mit dem Vollzugsproblem auseinandersetzt, dass Störer sehr oft anonym und auch nicht eruierbar sind.

sind. Artikel 667 ZGB bestimmt, dass sich das Eigentum an Grund und Boden nach oben und unten auf den Luftraum und das Erdreich erstreckt, soweit für die Ausübung des Eigentums ein Interesse besteht. Es bestehen mit anderen Worten anders als in der Fläche⁸⁴ keine vertikal klar und objektiv definierten Grenzen, bis zu denen sich das Eigentum bzw. dessen Schutz erstreckt. Der jeweilige Eigentümer muss ein Interesse an der Ausübung seines Eigentumsrechts bis zu einer bestimmten Höhe haben, und zwar ein schutzwürdiges.⁸⁵ Klar in diesem Zusammenhang ist, dass die zu berücksichtigenden Eigentümerinteressen verschieden geartet sein können und jeweils das konkrete Interesse in einem bestimmten Fall zu eruieren ist.⁸⁶

Anhand dieser anschaulichen Grafik (Abbildung 14) kann die Offenheit bei der Auslegung des schutzwürdigen Interesses eines Eigentümers gut nachvollzogen werden:



Abbildung 14: Vertikale Grenzen des Grundeigentums (adaptiert aus: Hrubesch-Millauer & Bruggisser 2014: 4).

⁸⁴ Vgl. dazu Art. 668 ZGB.

⁸⁵ Wie solche sogenannten unbestimmten Rechtsbegriffe ausgelegt werden, entscheiden letztlich die gerichtlichen Instanzen. Im Zusammenhang mit dem Überflug von Drohnen und Modellflugzeugen musste sich das Bundesgericht bisher noch nicht äussern.

⁸⁶ Ein Teil der Lehre spricht sich allerdings – anders als die Gerichte in diesem Zusammenhang – für einen abstrakten Begriff des Ausübungsinteresses aus (vgl. zum Ganzen sehr anschaulich: Hrubesch-Millauer & Bruggisser 2014, mit Hinweisen).

Es ist mithin in jedem einzelnen Fall konkret zu ermitteln, ob durch eine bestimmte Einwirkung einer zivilen Drohne das Eigentumsrecht eines bestimmten Grundeigentümers verletzt wird oder nicht. Die Beweislast obliegt hierbei dem Grundeigentümer.⁸⁷ Falls ihm dieser Beweis gelingt, stehen ihm eigentums- und besitzschutzrechtliche Instrumente zur Verfügung. Vorbehalten bleiben im Falle fehlender physischer Präsenz einer Drohne in der eigentumsrechtlichen Interessensphäre eines Grundstücks nachbarrechtliche Abwehrklagen (z.B. aufgrund von Lärmemissionen).⁸⁸

Darf ein Eigentümer oder Besitzer einer Liegenschaft Drohnen, die ihn stören, vom Himmel holen bzw. eigenmächtig Massnahmen gegen zivile Drohnen ergreifen? Die Bestimmungen der Artikel 926 ff. ZGB stellen dem Besitzer (dieser kann Eigentümer sein, muss aber nicht) verschiedene Instrumente zur Verfügung, um sich gegen Störungen seines Besitzes zur Wehr setzen. Neben der Besitzschutzklage, auf die vorliegend nicht weiter eingegangen werden soll, steht vor allem das Selbsthilferecht im Vordergrund. Ob und in welchem Masse ein Besitzer eines Grundstückes gegen eine zivile Drohne vorgehen darf, ist eine Frage der Verhältnismässigkeit und kann wiederum nur in einem konkreten Einzelfall beantwortet werden. Während ein Teil der Lehre für ein zurückhaltendes Selbsthilferecht plädiert (z.B. Hrubesch-Millauer & Bruggisser 2014), wird vorliegend die Meinung vertreten, dass es insbesondere angesichts der regelmässig anonymen zivilen Drohennutzung, wie sie heute an der Tagesordnung ist, zulässig sein sollte, durchaus bestimmt gegen einzelne Störer vorzugehen und die entsprechenden Schranken für den gestörten Besitzer nicht zu hoch anzusetzen. Allerdings gilt es für diesen zu beachten, dass er sich im Falle einer Abwehrhandlung, welche die Grenzen der Verhältnismässigkeit sprengt, seinerseits straf- und haftbar machen kann.

Selbstverständlich ist es aber zweifellos zulässig, das Eigentum bzw. den Besitz selbst gegenüber Kunden oder Besuchern entsprechend zu regeln und in gewissen Bereichen den Drohneneinsatz auf bzw. über einem eigenen Grundstück vollständig zu untersagen.

⁸⁷ BGE 132 III 689.

⁸⁸ Vgl. Art. 679 Abs. 1 ZGB.

Im Bereich der Drohnenabwehr (siehe dazu Abschnitt 2.4.3.1) scheint sich ein ganzer Industriezweig zu entwickeln.⁸⁹ Die Methoden zum Schutz gegen Drohnen sind aus rechtlicher Optik jeweils einzeln und konkret auf die Zulässigkeit mit dem Schweizer Recht zu beurteilen.

3.3.3.3 Internationaler Bereich

Der Schutz von Eigentum und Besitz ist eine lokale Angelegenheit mit wenig Berührungspunkten ins Ausland. In anderen Ländern bestehen verschiedene Regime und Instrumente, die sich mit den Fragen des Eigentums- und Besitzschutzes auseinandersetzen. Ein Koordinationsbedarf seitens des schweizerischen Gesetzgebers ist in diesem Zusammenhang nicht erkennbar, weshalb auf eine vergleichende internationale Betrachtung verzichtet wird.

3.3.3.4 Zwischenfazit

Die materiellen Instrumente für einen wirksamen Schutz von Eigentum und Besitz vor unzulässigen Einwirkungen durch zivile Drohnen sind bundesrechtlich zahlreich und detailliert geregelt. Es besteht hier offensichtlich kein Handlungsbedarf für den Gesetzgeber, auch im Falle einer weiteren Zunahme ziviler Drohnennutzungen.

Probleme können – wie beim Persönlichkeits- und Datenschutz – beim Vollzug bzw. der Durchsetzung der materiellen Ansprüche bestehen, da regelmässig nicht bekannt ist, von wem die Drohneneinsätze ausgehen und sie in der Regel auch nicht zurückverfolgt werden können. Mangels einer Registrierungspflicht können selbst verunfallte oder absichtlich vom Himmel geholte Drohnen nicht einem Halter bzw. einer Person zugeordnet werden.

Solange die Vollzugsprobleme andauern bzw. nicht gesichert ist, dass sich gestörte Grundeigentümer und Besitzer mittels Rechtsbehelfen wirksam zur Wehr setzen können, ist bei der Beurteilung der Verhältnismässigkeit von (den gesetzlich vorgesehenen) Selbsthilfeabwehrmassnahmen⁹⁰ im Zweifel zugunsten des gestörten Eigentümers bzw. Besitzers zu entscheiden.

⁸⁹ Vgl. dazu auch: Der leere Himmel über Monaco, NZZ-Folio vom 5. Dezember 2016.

⁹⁰ Vgl. Art. 926 ZGB.

3.3.4 Gesetzliche Grundlage und Zonenkonformität

3.3.4.1 Regulierungsobjekt

Sobald Drohnen über öffentlichem Grund fliegen, ist neben technischen Aspekten für die Zulässigkeit solcher Flüge auch entscheidend, ob die öffentlich-rechtliche Ordnung sie zulässt bzw. unter welchen Bedingungen sie zugelassen sind.

Private müssen sich an die Nutzungsordnung des öffentlichen Grundes halten (d.h., eine Nutzung muss grundsätzlich zonenkonform sein). Es obliegt dabei der öffentlichen Hand zu bestimmen, welche Nutzungen in bestimmten räumlichen Gebieten ausgeschlossen oder eingeschränkt werden sollen; dabei ist selbstverständlich immer ein öffentliches Interesse an einer Einschränkung notwendig und die entsprechenden Regelungen müssen sich als verhältnismässig erweisen.

Beim Einsatz von Drohnen durch Behörden (z.B. Polizei oder Grenzschutz) steht die Einhaltung des Prinzips der Gesetzmässigkeit im Vordergrund, d.h., die gesetzlichen Grundlagen müssen rechtmässig erlassen worden sein (unter Einhaltung der Delegationsregeln) und die Einsätze müssen gesetzlich vorgesehen sein. Im neuen Nachrichtendienstgesetz⁹¹ beispielsweise, das seit Anfang September 2017 in Kraft ist, wird das Beobachten und Festhalten in Bild und Ton von Vorgängen und Einrichtungen, die der geschützten Privatsphäre zuzurechnen sind, explizit untersagt.⁹² Die gesetzlichen Grundlagen für den Einsatz von behördlichen Drohnen finden sich sowohl auf Bundes- wie auf kantonaler und sogar kommunaler Ebene. Eine abschliessende Betrachtung und Analyse sämtlicher gesetzlich vorgesehener Einsatzarten kann im Rahmen der vorliegenden Studie nicht vorgenommen werden. Der Grundsatz hingegen, dass jeweils eine gesetzliche Grundlage für einen behördlichen Einsatz ziviler Drohnen bestehen muss, gilt ohne Einschränkung. Im Militär- und Zollrecht bestehen ebenfalls explizite nationale Grundlagen. Auf kantonaler oder kommunaler Ebene scheint der gesetzgeberische Handlungsbedarf am grössten zu sein (vgl. Steiger 2014: 182).

⁹¹ Bundesgesetz über den Nachrichtendienst vom 25. September 2015 (Nachrichtendienstgesetz, NDG; SR 121).

⁹² Art. 14 NDG; vgl. zur entsprechenden ständerätlichen Debatte die Ausführungen in Abschnitt 3.4.1.

3.3.4.2 Schweizerische Regulierung

Mit Ausnahme des national geregelten Grenzschutzes (vgl. das Zollgesetz) und des Nachrichtendienstes ist es grundsätzlich Sache der Kantone, die Einsätze der Polizeikräfte auf ihrem Gebiet so abzustützen, dass sämtliche Einsatzarten, die vorgesehen sind, auch über eine genügende gesetzliche Grundlage verfügen. Als Beispiel für einen kantonally vorgesehenen polizeilichen Drohneneinsatz mit genügender gesetzlicher Grundlage kann die Stadt Zürich dienen (Belser 2013: 181). Wenn zur Erfüllung von kantonalen Aufgaben militärische Ausrüstung wie z.B. Drohnen zur Verfügung gestellt werden sollen oder subsidiäre Sicherungseinsätze der Armee durchgeführt werden (Tiefenthal & Fischer 2014), sind dafür entweder die einschlägigen Bestimmungen des Militärgesetzes⁹³ oder des Bundesgesetzes über die militärischen Informationssysteme massgebend.⁹⁴

Die Raumplanung bzw. die Nutzungsplanung sind ebenfalls so zu gestalten, dass eine sinnvolle Nutzung der öffentlichen Räume und Gebiete durch Private erfolgen kann. Eine Analyse der entsprechenden Regelungen in der Schweiz würde den Umfang der vorliegenden Studie weit überschreiten. Sollten dereinst Drohnenflugverbotszonen in den Städten oder allenfalls auch Drohnenflugkorridore vorgesehen werden (was den Autoren der vorliegenden Studie aus heutiger Sicht nicht bekannt ist), sind die zuständigen öffentlichen Gemeinwesen für eine ordnungsgemässe Gesetzgebung verantwortlich.

3.3.4.3 Internationale Aspekte

Mit Ausnahme des Grenzschutzes, wo offensichtlich Berührungspunkte zum angrenzenden Ausland bestehen, ist die Regelung der Raumplanung (im Hinblick auf private Drohnennutzungen) wie auch die Schaffung der Gesetzmässigkeit behördlichen Handelns (z.B. beim Drohneneinsatz von Behörden) in der Regel kantonally geregelt und weist keine internationalen Schnittstellen auf. Entsprechende internationale Vereinbarungen bestehen nicht.

⁹³ Bundesgesetz über die Armee und die Militärverwaltung (Militärgesetz, MG; SR 510.10).

⁹⁴ Vgl. Artikel 181 Absatz 2 des Bundesgesetzes über die militärischen Informationssysteme vom 3. Oktober 2008 (MIG; SR 510.91).

3.3.4.4 Zwischenfazit

Wo Einschränkungen auf öffentlichem Grund betreffend den Betrieb ziviler Drohnen vorgenommen werden sollen, ist dies entsprechend gesetzlich zu regeln. Oft werden heute dem Drohnenbetrieb mangels lokaler gesetzgeberischer Aufmerksamkeit keine Grenzen gesetzt; dies bedeutet aber nicht, dass die Piloten ziviler Drohnen – abgesehen von den sicherheitstechnischen Einschränkungen – über öffentlichem Grund tun und lassen können, was sie wollen. Die lokalen Behörden sind in diesem Zusammenhang gehalten, die von ihnen als notwendig erkannten Einschränkungen sauber und transparent zu legiferieren, da andernfalls keine Regeln bestehen (wie beispielsweise auf öffentlichen Strassen, wo das Strassenverkehrsgesetz⁹⁵ und andere Erlasse für einen geordneten Betrieb sorgen).

In den Bereichen des behördlichen Einsatzes von Drohnen steht die Einhaltung des Gesetzmässigkeitsprinzips stark im Vordergrund. Bestehen genügende gesetzliche Grundlagen für behördliche Einsätze von Drohnen, was durchaus auch Gegenstand einer gerichtlichen abstrakten Normenkontrolle betreffend die Verfassungsmässigkeit eines kantonalen Erlasses bilden kann, sind solche Einsätze nicht zu beanstanden.

3.3.5 Gemeingebrauch und gesteigerter Gemeingebrauch

Solange eine (öffentlich-rechtlich zulässige) Nutzung von öffentlichem Grund für zivile Drohnenflüge erlaubt ist, besteht gewissermassen ein Recht für jedermann, dies im Rahmen des allgemeinen Gemeingebrauchs zu tun. Eine Grenze erfährt der Gebrauch dann, wenn «eine Nutzung ihrer Natur oder Intensität nach den Rahmen des Üblichen übersteigt, nicht mehr der bestimmungsgemässen Verwendung entspricht, den rechtmässigen Gebrauch durch andere Benützer beeinträchtigt und somit nicht mehr gemeinverträglich ist» (BGE 135 I 302).

3.3.5.1 Regulierungsobjekt

Solange keine Zonen bzw. öffentliche Räume bestehen, in denen – innerhalb der Schranken des gesetzlich erlaubten Betriebs – eine Nutzung von Drohnen explizit

⁹⁵ Strassenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958 (SVG; SR 741.01).

untersagt ist, dürfen Drohnen innerhalb des durch das Bundesgericht generell beschriebenen und jeweils im konkreten Einzelfall zu bestimmenden Umfangs des allgemeinen Gemeingebrauchs auch genutzt bzw. eingesetzt werden.

Verlangen Anwendungen aufgrund ihrer Intensität oder Betriebsart, die nicht mehr als gemeinverträglich betrachtet werden könnte, nach Sonderregelungen, ist über solche Nutzungen im Rahmen der Bewilligung von gesteigertem Gemeingebrauch Rechnung zu tragen, wobei in einem solchen Zusammenhängen sämtliche relevanten Interessen gegeneinander abzuwägen sind.

3.3.5.2 Schweizerische Regulierung

Die Raumplanung ist grundsätzlich Sache der Kantone; diese räumen den Gemeinden in ihrem jeweiligen Hoheitsgebiet regelmässig eine grosse Autonomie ein, auch was die Nutzung der öffentlichen Räume betrifft. Bislang haben zivile Drohnen in die entsprechenden Regulative noch nicht prominent Einzug gehalten.⁹⁶ Im Rahmen dieser Studie konnten weder Flugverbotszonen (z.B. in öffentlichen Naherholungsgebieten) noch Bewilligungen für gesteigerten Gemeingebrauch für zivile Drohnen eruiert werden.

3.3.5.3 Internationale Aspekte

Aspekte des Gemeingebrauchs bzw. eines allfällig gesteigerten Gemeingebrauchs von öffentlichem Grund mittels der Nutzung ziviler Drohnen sind nicht Gegenstand internationaler Sachverhalte und werden in den verschiedenen Ländern national behandelt.

3.3.5.4 Zwischenfazit und Empfehlung

Es besteht im Zusammenhang mit Fragen des Gemeingebrauchs bzw. des gesteigerten Gemeingebrauchs aus Sicht der Autoren der vorliegenden Studie aus heutiger Sicht kein Handlungsbedarf für die kantonalen und kommunalen Gesetzgeber. Sollten sich die massgeblichen Zustände so entwickeln, dass aufgrund der Nutzung ziviler Drohnen konkrete Problemfelder identifiziert würden, muss der jeweils zuständige Gesetzgeber (Kanton, Gemeinde) reagieren.

⁹⁶ Vgl. aber als Beispiel einer kommunalen Behandlung ziviler Drohnen Stadt Zürich (2015).

3.3.6 Umweltschutz

3.3.6.1 Regulierungsobjekt

Drohnen können einerseits in vielfältiger Weise für Anliegen des Umweltschutzes genutzt werden,⁹⁷ auf der anderen Seite können sie aber auch Probleme für die Umwelt darstellen bzw. generieren; zu denken ist dabei insbesondere an Lärmemissionen (Muggli 2015) sowie Störungen der Fauna (z.B. der Vogelwelt, vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.6.2.2). Vorliegend soll in diesem Zusammenhang eine Einschätzung vorgenommen werden, ob die bestehenden Instrumente des Umweltschutzes für den Umgang mit den Risiken, die von zivilen Drohneneinsätzen ausgehen, ausreichend sind oder ob und gegebenenfalls wie sie anzupassen sind.

3.3.6.2 Schweizerische Regulierung

Das Umweltrecht basiert vor allem auf dem Vorsorgeprinzip und dem Verursacherprinzip. Generell kommt dem Bund die Aufgabe zu, Vorschriften über den Schutz des Menschen und seiner natürlichen Umwelt vor schädlichen oder lästigen Einwirkungen zu erlassen (Art. 74 BV). Das Gleiche gilt für den Schutz der Tier- und Pflanzenwelt und zur Erhaltung ihrer Lebensräume in der natürlichen Vielfalt (Art. 78 Abs. 4 BV) und insbesondere für die Erhaltung der wildlebenden Säugetiere und Vögel (Art. 79 BV).

Bezüglich Drohnen sind in diesem Zusammenhang insbesondere das Umweltschutzgesetz (USG)⁹⁸, die Lärmschutz-Verordnung (LSV)⁹⁹, das Luftfahrtgesetz (LFG), das Natur- und Heimatschutzgesetz (NHG)¹⁰⁰ mit den zugehörigen Verordnungen¹⁰¹ sowie das Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz der wildleben-

⁹⁷ So beispielsweise im Zusammenhang mit Umweltforschung (vgl. dazu beispielhaft das Projekt *conservation drones* auf <https://conservationdrones.org> – abgerufen am 26. Juni 2017; siehe auch diverse Beispiele in Abschnitt 2.4.2).

⁹⁸ Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (Umweltschutzgesetz, USG; SR 814.01).

⁹⁹ Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (SR 814.41).

¹⁰⁰ Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966 (NHG; SR 451).

¹⁰¹ Wie beispielsweise die Verordnung über den Natur- und Heimatschutz vom 16. Januar 1991 (NHV; SR 451.1) oder Verordnungen über schützenswerte Gebiete von nationaler Bedeutung.

den Säugetiere und Vögel (JSG)¹⁰² mit den zugehörigen Verordnungen¹⁰³ relevant.

Art. 18 Abs. 1 NHG enthält den Grundsatz, dass dem Aussterben einheimischer Tier- und Pflanzenarten durch die Erhaltung genügend grosser Lebensräume (Biotope) und andere geeignete Massnahmen entgegenzuwirken ist. Nach Art. 14 Abs. 2 Buchstabe d NHV sind Biotope insbesondere durch Ausscheidung ökologisch ausreichender Pufferzonen zu schützen. Dies betrifft nicht allein die Biotope von nationaler, sondern auch jene von regionaler und lokaler Bedeutung. Die Verordnungen zu den Biotopen von nationaler Bedeutung nennen als Schutzziele die Erhaltung und Förderung der standortheimischen Pflanzen- und Tierwelt. Die Erholungsnutzung, zu welcher der Betrieb von privaten Drohnen gehört, muss im Einklang mit dem Schutzziel stehen.

Der Schutz der Säugetiere und Vögel ist zusätzlich im JSG geregelt. Die Kantone sind verpflichtet, für einen ausreichenden Schutz der wildlebenden Säugetiere und Vögel vor Störung zu sorgen (Art. 7 Abs. 4 JSG). Das Stören des Brutgeschäfts der Vögel wird unter anderem sogar unter Strafe gestellt (vgl. Art. 17 Abs. 1 lit. b JSG). Störungen von Vögeln und Säugetieren durch den Betrieb ziviler Drohnen, indem z.B. wildlebende Tiere direkt angefliegen oder Brutgebiete bewusst überflogen werden, sind dementsprechend zu vermeiden. In den Wasser- und Zugvogelgebieten von nationaler und internationaler Bedeutung und in den Jagdbanngebieten ist das Stören von Tieren ebenfalls nicht zulässig und der Betrieb von zivilen, unbemannten Luftfahrzeugen ist sogar explizit verboten (Art. 5 Abs. 1 lit. b sowie lit. f^{bis} WZVV und VEJ).

Gestützt auf Art. 19 VLK in Verbindung mit Art. 51 LFG dürfen die Kantone für unbemannte Luftfahrzeuge mit einem Gewicht von weniger als 30 kg explizit Vor-

¹⁰² Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel vom 20. Juni 2017 (Jagdgesetz, JSG; SR 922.0).

¹⁰³ Wie beispielsweise die Verordnung über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel vom 29. Februar 1988 (Jagdverordnung, JSV; SR 922.01), die Verordnung über die eidgenössischen Jagdbanngebiete vom 1991 (VEJ; SR 922.31) und die Verordnung über die Wasser- und Zugvogelreservate von internationaler und nationaler Bedeutung vom 21. Januar 1991 (WZVV; SR 922.32).

schriften zur Verminderung der Umweltbelastung und der Gefährdung von Personen und Sachen auf der Erde erlassen.¹⁰⁴

Auf der vom BAZL im Internet veröffentlichten Schweizer Karte betreffend Einschränkungen für Drohnen¹⁰⁵ figurieren neben technischen Einschränkungen (z.B. Flugplatzgebiete und Flugräume) auch Drohnen-Umweltschutzgebiete wie das Bundesinventar der Wasser- und Zugvogelreservate von internationaler und nationaler Bedeutung sowie das Bundesinventar der eidgenössischen Jagdbanngebiete (inkl. Routennetz) des Bundesamts für Umwelt (BAFU).

Das BAFU als Umweltschutzbehörde des Bundes verweist im Zusammenhang mit zivilen Drohnen überwiegend auf nützliche Aspekte in den Bereichen Umweltbeobachtung und Forschung im Umweltbereich.¹⁰⁶ Soweit Drohnen genutzt werden als Instrumente, welche die Umwelt gefährden können (z.B. bei der Ausbringung aus der Luft von Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten und Düngern), werden zivile Drohnen neben funktionale Äquivalente (z.B. Helikopter) gestellt (BAFU/BAZL 2016).

Insgesamt lässt sich damit festhalten, dass die Umsetzung der gesetzlichen Grundlagen und der konkrete Vollzug in Entwicklung sind und heute noch nicht umfassend beurteilt werden können.

3.3.6.3 Internationale Aspekte

Die Umweltaspekte, die von den Einsätzen ziviler Drohnen betroffen sind, sind meist lokaler, selten regionaler Natur. Wo sie tatsächlich auch internationale Aspekte betreffen können (z.B. im Zusammenhang mit der Störung von Zugvogelgebieten), liegt es an den nationalen Gremien, dafür zu sorgen, dass einerseits allfällige internationale Vereinbarungen abgeschlossen und eingehalten werden,

¹⁰⁴ Auf eine entsprechende Anfrage hin hat der Regierungsrat des Kantons Zürich beispielsweise am 27. September 2017 beschlossen, es sei betreffend Registrierung und Bewilligungspflicht wie auch betreffend Nutzungseinschränkungen ziviler Drohnen eine nationale Lösung anzustreben (KR-Nr. 150/2017).

¹⁰⁵ Vgl. https://map.geo.admin.ch/?layers=ch.bazl.luftfahrthindernis,ch.bazl.einschraenkungen-drohnen,ch.bafu.bundesinventare-vogelreservate,ch.bafu.bundesinventare-jagdbanngebiete&lang=de&topic=aviation&bgLayer=ch.swisstopo.pixelkarte-grau&layers_visibility=false,true,true,true&catalogNodes=1381,2863&layers_opacity=1,0.6,0.75,0.75&X=185353.92&Y=639965.13&zoom=2.1462510208240984 – abgerufen am 11. August 2017.

¹⁰⁶ Vgl. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/suche.html#Drohne> – abgerufen am 11. August 2017. Im Zusammenhang mit *Smart Farming* vgl. Hodel 2016: 17.

andererseits die nationale Regulierung im Hinblick auf die verfolgten Ziele angemessen und wirksam ist.

3.3.6.4 Zwischenfazit

Auf der Verfassungs- und Gesetzesebene sind die Aspekte des Umwelt- und Naturschutzes genügend geregelt, um auch Problematiken, die durch eine zunehmende Nutzung der Drohnen entstehen können, abdecken zu können. Der Vollzug der Umweltgesetzgebung ist aber – auch in diesem Zusammenhang – ständig in Entwicklung und sollte aus Regulationsperspektive im Auge behalten werden.

3.3.7 Übrige Regulation

Neben den behandelten Rechtsbereichen gibt es noch andere rechtliche Themen rund um den Betrieb ziviler Drohnen. Auf Nebenthemen wie Roboterstrafrecht (vgl. Markwalder & Simmler 2017: 179) oder spezifische kantonale Regelungen kann an dieser Stelle aber nicht weiter eingegangen werden.

3.4 Politische Aktivitäten

An dieser Stelle werden die verschiedenen politischen Aktivitäten der jüngsten Zeit rund um Regulationsaspekte ziviler Drohnen in knapper Form zusammengefasst. Zu diesem Zweck werden zunächst die politischen Vorstösse im Zusammenhang mit zivilen Drohnen kurz beschrieben und anschliessend werden diese einer inhaltlichen Bewertung unterzogen.

3.4.1 Relevante Vorstösse im schweizerischen Parlament

Das Postulat 13.3977 aus dem Jahr 2013 sollte den Bundesrat beauftragen, einen vollständigen Bericht über die Problematik von zivilen Drohnen vorzulegen. Dabei sollten die Schwerpunkte auf die Themen «Kauf und Verwendung ziviler Drohnen», «Luftfahrtsicherheit», «Gefahren für Vögel und Lärmbelästigung» sowie

«Fragen in Bezug auf Datenschutz und den Schutz der Privatsphäre der Bürgerinnen und Bürger» gelegt werden. Während der Bundesrat die Annahme des Postulats beantragte, formierte sich im Nationalrat Opposition. Leider konnte das Geschäft nicht wie vorgesehen im Dezember 2013 behandelt werden und musste verschoben werden. Weil die Behandlung auch später während mehr als zwei Jahren nicht erfolgen konnte, wurde das Geschäft abgeschrieben. Ein Bericht über zivile Drohnen in der Schweiz wurde aber dennoch am 7. Februar 2016 von der RPAS-Arbeitsgruppe des BAZL verabschiedet, wodurch die Anliegen des Postulats grösstenteils abgedeckt werden sollten (BAZL 2016), auch wenn dieser Bericht noch einige Unstimmigkeiten und Lücken enthält.

Die Postulate 14.4284 bzw. 14.4137 aus dem Jahr 2014 hatten unter anderem Datenschutzaspekte von Drohnen zum Gegenstand. Sie wurden im März 2015 – auch auf Antrag des Bundesrats – angenommen und verpflichten den Bundesrat, «im Rahmen der nächsten Revision des Bundesgesetzes über den Datenschutz einen Bericht auszuarbeiten, der sich schwerpunktmässig mit den Risiken der Nutzung von privaten Kameras, insbesondere Smartphones, Dashcams, Drohnen und «Datenbrillen», befasst». Den Anliegen dieser Postulate ist im Rahmen der aktuell laufenden Revision der Datenschutzgesetzgebung Rechnung zu tragen.

Die Interpellation 14.4223 zielt auf Ausnahmegewilligungen im Drohnenbereich und auf damit zusammenhängende Haftungs- und Datenschutzfragen. Sie stellt eine Registrierungspflicht für Drohnen zur Diskussion, deren Möglichkeit sich gemäss der Antwort des Bundesrats (im Luftfahrzeugregister) in Abklärung befindet. In der vorliegenden Studie werden die Anliegen dieser Interpellation insofern unterstützt, als die Einführung einer Registrierungspflicht in der Tat eine Reihe von Vollzugsproblemen beseitigen würde.

Die Frage 15.5027 wollte vom Bundesrat wissen, weshalb unerlaubte Flugobjekte am WEF nicht frühzeitig erkannt und vernichtet worden seien. Der Bundesrat erklärte in seiner Antwort, dass die angesprochenen Geschehnisse in der Verantwortung des Kantons Graubünden gelegen hätten und die zuständige Kantonspolizei rasch gehandelt habe. Zudem seien Militärangehörige entsprechend sensibilisiert worden. Auch in diesem Zusammenhang ist auf eine vorbeugende Wirkung der Einführung einer allfälligen Registrierungspflicht, die im Rahmen der vorliegenden Studie empfohlen wird, hinzuweisen.

Die Frage 15.5039 bemängelte, dass der Einsatz ziviler Drohnen in der Schweiz nicht genügend reglementiert sei und wollte vom Bundesrat wissen, ob es nicht sinnvoller wäre, den Drohneneinsatz stärker zu regulieren. Der Bundesrat verwies in diesem Zusammenhang auf die VKL, die zwar wenige, aber klare Grundsätze regle. Er gestand aber auch ein, dass sich dieser Bereich auf verschiedenen Ebenen rasant entwickle und das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL) daher den Erlass neuer Vorschriften prüfe. Der Einschätzung des Bundesrats kann in diesem Punkt nicht gefolgt werden. Die Drohnenregulation und -bewilligungspraxis basiert heute auf Einzelfallentscheidungen und die relevanten gesetzlichen Grundlagen enthalten nicht die grundlegenden Anforderungen dafür. Dem BAZL kommt heute in diesem Zusammenhang ein enormer Spielraum zu, der bisher zwar zu keinen (bekannten) Problemen Anlass gegeben hat, in Zukunft aber besser reglementiert und gesetzlich abgesichert werden sollte.

Die Motion 16.3310 wollte den Bundesrat auffordern, das Bedrohungspotenzial von zivilen Drohnen zu evaluieren und dem Parlament zum Schutz der Bevölkerung einen Erlass gesetzlicher Grundlagen zu unterbreiten. Als Begründung der Motion wurde insbesondere angeführt, dass Aviatikexperten die Gesetzgebung im Bereich Drohnen als zu «salopp» erachteten. Der Bundesrat stand dieser Motion ablehnend gegenüber und führte vor allem den Bericht des BAZL (BAZL 2016) ins Feld, der eine Definition der Drohnen enthalte und selbst zum Schluss komme, dass neue Anwendungsbereiche von zivilen Drohnen künftig erweiterte sicherheitstechnische Vorgaben und Zulassungsverfahren notwendig machen werde. Im Übrigen erkannte der Bundesrat keinen weiteren Handlungsbedarf in Bezug auf die geltenden Rechtsgrundlagen für den Betrieb von Drohnen. Er verwies auch auf die internationalen Arbeiten in diesem Bereich und stellte bereits in Aussicht, dass die Schweiz die Ergebnisse dieser Arbeiten im Rahmen des Luftverkehrsabkommens übernehmen solle. Die Motion wurde im Mai 2017 im Nationalrat abgelehnt. Angesichts der Ergebnisse der vorliegenden Studie überzeugt die Antwort des Bundesrats auf die Motion inhaltlich nicht. Weder vermag die Definition von Drohnen des BAZL (BAZL 2016) zu überzeugen (vgl. dazu die Ausführungen in Abschnitt 2.1), noch können die aktuell geltenden gesetzlichen Grundlagen vor dem Hintergrund des Legalitätsprinzips als genügend betrachtet werden; im Rahmen einer zusehends überforderten Einzelbewilligungspraxis beschäftigt sich das BAZL aktuell mit der sicherheitstechnischen Beurteilung von Drohnensachverhalten. Insbesondere angesichts der Dynamik in diesem Bereich vermag ein solcher (in einer Anfangsphase durchaus als pragmatisch zu beurteilender) Ansatz nicht

mehr zu überzeugen. In den im Rahmen dieser Studie vorgeschlagenen Empfehlungen gelangen die Autoren daher zu einer anderen Einschätzung als das BAZL bzw. der Bundesrat.

Die Interpellation 16.4032 beschäftigt sich mit den zivilrechtlichen Fragen rund um den Betrieb ziviler Drohnen. Die Gefahren für Persönlichkeitsrechte, insbesondere die Privatsphäre wie auch Störungen des Eigentums oder des Besitzes stehen bei dieser Interpellation im Vordergrund. Der Bundesrat verweist in seiner Antwort auf das bestehende zivilrechtliche (und auch strafrechtliche) Instrumentarium und wertet dieses als ausreichend. Dem Bundesrat ist in diesem Zusammenhang zuzustimmen, kommt doch die vorliegende Studie im Grundsatz zum gleichen Ergebnis (vgl. dazu die Abschnitte 3.3.2 und 3.3.3). Auf die Defizite, die beim Vollzug bzw. bei der Durchsetzung der materiellen Normen bestehen aufgrund der regelmässig anonymen Drohnennutzung, geht der Bundesrat freilich nicht ein und hier liegt der grösste Handlungsbedarf. Wenn ein Störer des Eigentums oder Besitzes oder der Verursacher einer Verletzung der Privatsphäre regelmässig nicht ausfindig gemacht und zur Rechenschaft gezogen werden kann, nützen die materiellen Schutz- und Abwehrbestimmungen in diesen Bereichen wenig.

Im Zusammenhang mit der Beratung des Nachrichtendienstgesetzes (Geschäft 14.022) wurde im Rahmen der parlamentarischen Debatte diskutiert, ob behördliche Drohneneinsätze in der geschützten Privatsphäre bewilligungspflichtig sein sollten, da ja heute jeder private Drohnennutzer dies faktisch machen könne. Das Parlament hat sich für die Streichung einer entsprechenden Bewilligungspflicht ausgesprochen und damit einem Minderheitsantrag der zuständigen Kommission entsprochen. Dabei blieb es allerdings beim Grundsatz, dass Drohneneinsätze bzw. das Beobachten und Festhalten in Bild und Ton von Vorgängen und Einrichtungen, die der geschützten Privatsphäre zuzurechnen sind, grundsätzlich nicht zulässig sind (vgl. Art. 14 des Nachrichtendienstgesetzes¹⁰⁷).

3.4.2 Zwischenfazit

Es kann festgestellt werden, dass sämtliche Themen und Inhalte der politischen Vorstösse der letzten Jahre im Zusammenhang mit zivilen Drohnen in der vorliegenden Studie analysiert wurden.

¹⁰⁷ Vgl. die entsprechende Debatte im Amtlichen Bulletin des Ständerats (AB 2015 S 515).

Über weite Strecken werden die Ansichten der Entscheidungsträger im Zusammenhang mit der Beantwortung bzw. Behandlung der Vorstösse geteilt, in zentralen Bereichen werden vorliegend jedoch auch anderslautende Empfehlungen gemacht.

Betreffend Datenschutz- und Persönlichkeitsrecht sowie Eigentums- und Besitzschutz steht für die Autoren der vorliegenden Studie ausser Frage, dass die bereits heute zur Verfügung stehenden Abwehrinstrumente inhaltlich ausreichen. Im Bereich des Vollzugs sind jedoch Massnahmen (wie z.B. die Einführung einer Registrierungspflicht) erforderlich, wenn den materiellen Normen auch tatsächlich Beachtung verschafft werden soll im Zusammenhang mit dem Betrieb ziviler Drohnen. Ein tolerierter anonymer Betrieb ziviler Drohnen liesse die (zweckmässigen) Schutzbestimmungen im Bereich Datenschutz und Persönlichkeitsrecht sowie eigentums- und besitzrechtliche Abwehrmassnahmen über weite Strecken als wirkungslos erscheinen. Das zentrale Problem liegt heute nicht in den Schutzbestimmungen als solchen, sondern in der fehlenden Durchsetzungsmöglichkeit im Falle eines unbestimmbaren Betreibers einer Drohne.

Im sicherheitstechnischen Bereich weicht die Beurteilung im Rahmen der vorliegenden Studie von den bisherigen Positionen des BAZL bzw. des Bundesrats ab. Die gesetzlichen Grundlagen für die sicherheitstechnische Beurteilung von zivilen Drohnen sind aus Aspekten der Gesetzmässigkeit und der Rechtsgleichheit anzupassen. Der Begriff «Drohne» ist – ohne ihn technisch von den Modellluftfahrzeugen abzugrenzen – im Regulativ einzuführen und die wesentlichen inhaltlichen Grundsätze des Bewilligungsregimes sollten mindestens auf Verordnungsstufe enthalten sein, was heute nicht der Fall ist.

Betreffend die Übernahme künftiger internationaler Bestimmungen wird im Rahmen dieser Studie ebenfalls ein differenzierteres Vorgehen empfohlen, als dies der Bundesrat in seiner Antwort auf die Motion 16.3310 andeutet. Nicht eine pauschale Übernahme europäischer Vorschriften zu zivilen Drohnen gestützt auf das Luftverkehrsabkommen sollte im Zentrum stehen, sondern ein sorgfältiges Abwägen von Vor- und Nachteilen und ein konsequentes Ausschöpfen der vorhandenen Spielräume erscheinen angezeigt, soweit dies im Interesse der Schweizer Stakeholder liegt.

4. Strategische Bedeutung

Das Kapitel «Strategische Beurteilung» entwickelt – basierend auf den erhobenen Fakten und der Regulationsanalyse – plausible Szenarien zur möglichen Entwicklung des Drohnenwesens in der Schweiz. Zentrales Element in dieser Beurteilung ist die Sammlung der Standpunkte der verschiedenen Akteure. Die Ansichten der wichtigsten Stakeholder bezüglich Chancen und Risiken ziviler Drohnen werden hier systematisch dargelegt. Hierzu werden die wichtigsten Stakeholder-Gruppen identifiziert und in einem zweistufigen Verfahren ausführlich über die verschiedenen Aspekte der Drohnentechnologie befragt, die in den Kapiteln «Faktenbasis» und «Regulationsanalyse» identifiziert worden sind. Die Antworten der Stakeholder sind dann zu Nutzungs- und Beurteilungsvarianten verdichtet und ihnen erneut zur Beurteilung vorgelegt worden. Basierend auf den Antworten der zweiten Runde sowie dem Input der Fakten- und Regulationsanalyse werden die Szenarien erstellt, welche Entwicklungsmöglichkeiten der Drohnennutzung in der Schweiz in Abhängigkeit technischer, regulatorischer, sozialer und wirtschaftlicher Einflussfaktoren aufzeigen.

4.1 Stakeholder-Analyse

4.1.1 Identifizierung der Stakeholder

Drohnen haben sich zu einer Massentechnologie entwickelt mit beeindruckenden Verkaufszahlen auch in der Schweiz, wie im Abschnitt 2.5.3 ausgeführt worden ist. Wohl jeder Bewohner dieses Landes dürfte bereits mit Drohnen in Kontakt gekommen sein; einige davon dürften sich von diesen auch gestört gefühlt haben. So gesehen ist jede Person in diesem Land potenziell von Drohnen betroffen. Dennoch war eine allgemeine Befragung der Bevölkerung kein Ziel dieser Studie. Einerseits deshalb, weil die Medienanalyse eine öffentliche Rezeption der Drohnen identifizierte, die stark von der militärischen Nutzung dieser Technologie geprägt ist (wenngleich diese deutlich abnimmt) – der Fokus der Studie aber die zivile Nutzung betrifft. Andererseits auch deshalb, weil die für diese Studie verfügbaren Mittel eine solche Befragung nicht realisieren liess.

Aus diesem Grunde wurden stattdessen die wichtigsten Akteure identifiziert, die in relevanter Weise vom Drohnenwesen betroffen sein können. Aufgrund des Expertenwissens des Teams und der im Kapitel Faktenbasis erhobenen Informationen sind dies die folgenden Stakeholder:

- **Behörden und andere staatliche Institutionen:** Eine Reihe von Verwaltungsstellen in der Schweiz sind direkt in regulatorische Aspekte des Drohnenwesens involviert. Dazu gehört insbesondere das Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL), welches derzeit die Bewilligungen für bestimmte Nutzungen für Drohnen erteilt. Weitere relevante Amtsstellen sind das Bundesamt für Kommunikation (BAKOM; Regulierung der Funkfrequenzen für die Drohnenkontrolle) und das Bundesamt für Umwelt (BAFU; Regulierung der Umweltauswirkungen von Drohnen). Da sensorbestückte Drohnen auch den Datenschutz tangieren, gehören die entsprechenden kantonalen und nationalen Beauftragten ebenfalls zu den relevanten Stakeholdern. Schliesslich gibt es auch staatliche Stellen, welche Drohnen nutzen (werden) – in erster Linie die Armee, aber zunehmend auch Polizei und Grenzschutz.
- **Organisationen der Luftraum-Infrastruktur:** Der internationale Luftraum ist ein komplexes, klar reguliertes Gebilde, in das der unbemannte Luftverkehr integriert werden muss, sollte dieser eine relevante wirtschaftliche Grösse werden. Entsprechend sind auf europäischer Ebene Eurocontrol und in der Schweiz skyguide zentrale Player. Dazu kommen die Betreiber von Flughäfen und Flugplätzen, bei denen Drohnen einerseits eine Gefahrenquelle darstellen können, die andererseits aber auch bestimmte Formen der unbemannten Luftfahrt dereinst in ihren Betrieb integrieren könnten.
- **Andere Luftraumnutzer:** Drohnen werden im Luftraum auf zahlreiche andere Luftraumnutzer stossen mit ihren jeweiligen Ansprüchen. Für die grossen Fluggesellschaften sind Drohnen vorab im Start- und Landebereich eine potenzielle Bedrohung, sie können aber auch im Unterhalt und der Kontrolle von Flugzeugen eingesetzt werden. Für die Luftwaffe, Luftrettungsdienste oder kommerzielle Anbieter von Dienstleistungen (z.B. Transporthelikopter) stellen Drohnen ebenfalls primär eine Risikoquelle dar. Für Privatpersonen wie z.B. Motor- oder Segelflieger, aber auch Gleit- und Fallschirmflieger dürften Drohnen ebenfalls eine relevante Gefahrenquelle bilden, da sie teilweise den gleichen Luftraum teilen. Modellflieger schliesslich dürften insbesondere von einer sich wandelnden Regulation wegen Drohnen betroffen sein.

- **Forschung und Entwicklung:** Insbesondere die technischen Hochschulen in der Schweiz forschen intensiv zur Entwicklung von Drohnentechnologie (Hard- und Software-Komponenten sowie Systemlösungen) und sind international führend. Dazu kommt, dass das vergleichsweise liberale Regime in der Schweiz Unternehmen dazu bringt, ihre F&E-Aktivitäten in der Schweiz umzusetzen.
- **Hersteller:** Wie Abschnitt 2.5.2.2 ausführt, sind zahlreiche Unternehmen – einige davon auch in der Schweiz – in die Herstellung von Drohnen oder Technologiekomponenten involviert. In der Schweiz hat sich zudem im Umfeld der technischen Hochschulen eine lebendige Start-up-Szene entwickelt, welche neue technische Innovationen im Drohnenbereich realisiert wie z.B. *Autonomous Systems*.
- **Anwender von Drohnen:** Das Spektrum der Anwendungen für Drohnen ist ausserordentlich breit, wie in Abschnitt 2.4 ausgeführt worden ist. Entsprechend unterschiedlich sind auch die Arten professioneller Anwender, vom Einpersonunternehmen, das drohnengestützte Luftaufnahmen anbietet, bis hin zu Grossunternehmen wie die Post, welche Drohnen für logistische Zwecke einsetzen wollen. Eine vollständige Abdeckung dieser Stakeholder-Gruppe ist nicht realistisch; es sollten aber Vertreter aller Grössenordnungen von Unternehmen und andere Organisationen (z.B. Hilfswerke, Forschungsinstitute) zu Wort kommen.
- **Verbände mit direktem Bezug zum Drohnenwesen:** Angesprochen ist hier insbesondere der Schweizerischer Verband Ziviler Drohnen (SVZD) und der Verband der Unbemannten Luftfahrt UAV DACH e.V. (Deutschsprachiger Raum Schweiz, Österreich und Deutschland).
- **Umweltorganisationen:** Da Drohnen diverse Umweltauswirkungen haben können, sind auch die Vertreter der entsprechenden Verbände angesprochen – namentlich Vertreter von Lärmschutz, Vogelschutz, Wildtierschutz etc.).
- **Sonstige Akteure mit wirtschaftlichen Interessen am Drohnenwesen:** Das betrifft beispielsweise Versicherungen, die durch Drohnen verursachte Risiken abdecken, oder Investoren, welche in die Drohnenwirtschaft investieren wollen.

Vertreter all dieser Stakeholder sind im Rahmen dieser Studie eingeladen worden, zu den zahlreichen durch Drohnen aufgeworfenen Aspekten Stellung zu beziehen. Der Folgeabschnitt zeigt auf, wie dies umgesetzt wurde.

4.1.2 Methodologie der Befragung

4.1.2.1 Konzeption der Befragung

Ursprünglich war vorgesehen, die Ansichten von Vertretern der Stakeholder mittels semi-strukturierten Interviews zu erheben. Die Ergebnisse dieser Interviews hätten dann den Vertretern erneut für eine Beurteilung vorgelegt werden sollen, d.h., die Studie verfolgte ein sogenanntes Delphi-Design. Weil die Liste der angesprochenen Personen aber im Zug der Arbeiten sehr gross wurde, hat das Studienteam in Absprache mit dem Auftraggeber TA-SWISS und der Begleitgruppe die Konzeption der Befragung angepasst. Zuerst wurden insgesamt vier Site-Visits durchgeführt und rund einstündige Interviews mit den Experten geführt. Deren Antworten haben – zusammen mit den sonstigen, in den Kapiteln 2 und 3 dargelegten Arbeiten – zu einem Fragebogen geführt, der unter Verwendung der Software Qualtrics online beantwortet werden kann. Der Link zu diesem Fragebogen wurde dann den Vertretern der Stakeholder-Gruppen zugesandt. Im Fragebogen konnten die Experten dann auch angeben, ob sie in einer zweiten Runde ebenfalls ihre Einschätzungen abgeben wollen.

Aufgrund der Antworten der ersten Runde und weiteren Informationen – insbesondere den Resultaten der Medienanalyse – wurde dann eine zweite Onlineumfrage programmiert. In dieser standen nicht einzelne Aspekte des Drohnenwesens im Zentrum, sondern es wurden jeweils verschiedene Entwicklungsvarianten pro Themengruppe vorgelegt. Die Experten gaben dann an, welche dieser Varianten sie selbst bevorzugen würden und wie sie deren Eintretenswahrscheinlichkeit beurteilen. Die Struktur des Delphi-Designs wurde also beibehalten. Diese Antworten dienten dann zur Erstellung der Szenarien, welche dann vom Studienteam beurteilt wurden.

4.1.2.2 Angesprochene Stakeholder

Wir haben von jeder Stakeholder-Gruppe zuerst die relevanten Institutionen bzw. Organisationen identifiziert und danach die geeigneten Experten jeder Organisation ausfindig gemacht. Tabelle 7 zeigt, welche Organisationen pro Stakeholder-Gruppe angesprochen worden sind und wie viele der Experten in der ersten bzw. zweiten Runde auswertbare Antworten geliefert haben.

Tabelle 7: Für die Umfrage angegangene Stakeholder. R1: Befragungsrunde 1; R2: Befragungsrunde 2.

Stakeholder-Gruppe	Angefragte Organisationen	Anzahl Experten		
		angefragt	Antworten R1	Antworten R2
Behörden	BAZL, BAKOM, BAFU, Eidg. Datenschutz, Datenschutz BS, Polizei, Grenzschutz, Luftwaffe, armasuisse	9	9	7
Luftraum-Infrastruktur	Skyguide, Eurocontrol, Flughafen Zürich, Flugplatz Grenchen	5	4	4
Luftraumnutzer	Berufsgruppe Airline-Piloten, Lions Air Group AG, REGA, Aero Club, Air Zermatt, Swiss Air Lines	6	3	2
F&E	ETHZ, EPFL, MIT, HSG, UZH, HAFL, Swiss Space Center	10	7	3
Hersteller	SenseFly, Swissdrones, RUAG, SR-Technics, Swiss Aerobotics, DJI, Wingtra, Google	9	5	2
Anwender	Amazon, ZHAW, Meteoromatics, SLF Davos, Cisco, Swissgrid, Medair, Swisscom, Post, UNINE, DHL, Bird View Picture, Fly & Film, Aerotain, Aeropters, Droneflight, Spengler, Wildtiermanager, Schafhüter	21	16	15
Drohnen-verbände	SVZD, UAV DACH, Drohnenverband Norddeutschland	3	2	1

Andere Verbände	BildLife, SGW, Pro Natura, Mountain Wilderness, Ärzte für Umweltschutz, Stiftung Landschaftsschutz, SAC, WWF, Jagt Schweiz, Netzwerk Schweizer Pärke, Lärmliga, Schweiz. Vogelwarte, Konsumentenschutz (d/f)	14	12	6
Sonstige Akteure	Zurich, Swiss Re, Delvag, Airware's Fond, SkyFund	7	3	1

In neun Organisationen wurde mehr als ein Experte befragt, in acht Fällen ist es uns trotz mehrfacher Anfrage nicht gelungen, von einer Organisation einen geeigneten Experten zu identifizieren. Unter Abzug dieser Fälle haben von 78 angefragten Experten deren 61 die erste Runde der Umfrage abgeschlossen, was einem Rücklauf von über 78% entspricht (jeder Experte wurde zwei Mal per E-Mail erinnert); von allen Stakeholder-Gruppen sind ausreichend viele Bewertungen eingegangen. Im Schnitt (Median) benötigten die Befragten gut 30 Minuten zum Ausfüllen des Fragebogens.

Auch in der zweiten Runde sind alle Stakeholder-Gruppen repräsentiert; insbesondere die Anwender, Behörden und Vertreter der Luftraum-Infrastruktur sind im zweiten Teil ebenfalls fast vollständig vertreten. 50 Personen der ersten Runde haben angegeben, auch die zweite Runde beantworten zu wollen; tatsächlich haben dann aber nur 41 Personen den zweiten Fragebogen ausgefüllt (auch hier wurden die Personen zwei Mal erinnert), was einem Rücklauf von 82% entspricht.

4.1.2.3 Aufbau der ersten Umfrage

Im ersten Teil der Umfrage wurden Fragen zu diversen Einzelaspekten des Drohnenwesens gestellt; der Umfragetext stand auf Deutsch und Englisch zur Verfügung. Nach allgemeinen Informationen wurden zu folgenden Themengruppen Fragen gestellt:

- Eine erste Gruppe von Fragen bezog sich auf das persönliche Verhältnis zu Drohnen. So wurde zunächst in zwei Szenarien erhoben, unter welchen Umständen die Befragten ein Drohntaxi in Anspruch nehmen würden. Dann wurde abgefragt, welchen Bezug die Personen zu Drohnen haben und inwiefern sie diese selbst auch nutzen (beruflich oder privat).
- Es folgten dann Fragen zur Akzeptanz und Verbreitung der Drohnen in der Bevölkerung; allgemein und aufgeschlüsselt für diverse Anwendungen. Für diese Anwendungen wurde auch gefragt, inwieweit diese im Jahr 2025 erlaubt sein dürften. Bezüglich Verbreitung wurde zudem ermittelt, welche technologischen Entwicklungen für die künftige Nutzung von Drohnen relevant sein dürften.
- Eine weitere Fragegruppe beschäftigte sich mit den Chancen und Risiken von Drohnen, aufgeschlüsselt auf diverse Bereiche; es wurde deren Relevanz und Eintretenswahrscheinlichkeit erhoben. Ermittelt wurde auch eine Einschätzung des wirtschaftlichen Potenzials.
- Dann folgten Fragen zu möglichen Fördermassnahmen für die Drohnentechnologie.
- Schliesslich wurden Ansichten und Wünsche zur regulatorischen Aspekten abgefragt.

Zu Beginn der Umfrage wurde festgehalten, dass unter dem Begriff «Drohne» unbemannte Fluggeräte verstanden werden, die entweder von Menschen ferngesteuert oder von einem integrierten oder ausgelagerten Computer (teil-)gesteuert und damit teil- oder vollautonom fliegen können. Es wurde auch festgehalten, dass in der Studie lediglich die zivile Nutzung von Drohnen untersucht werde, was aber den Einsatz für die Zwecke von Polizei und Grenzschutz (z.B. Überwachung) miteinschliesst. Eine detaillierte Auflistung der Fragen folgt im Resultate-Teil.

4.1.2.4 Aufbau der zweiten Umfrage

In der zweiten Umfrage wurden zu insgesamt zehn Themen jeweils vier Entwicklungsvarianten vorgelegt und die Experten hatten zu beurteilen, welche dieser Varianten sie präferieren würden und welche sie als am wahrscheinlichsten ansehen. Dieser Fragebogen stand nur auf Deutsch zur Verfügung. Diese zehn Themen waren:

- Bedeutung der militärischen Nutzung von Drohnen für deren Image
- Zukünftige Verbreitung der Drohnentechnologie
- Bedeutung von Natur-/Umweltschutz für das Image und die Verbreitung von Drohnen
- Nutzung von Drohnen im urbanen Raum
- Risiken der Nutzung von Drohnen
- Wirtschaftliche Bedeutung von Drohnen
- Einsatzformen von Drohnen (abgeschätzt durch vermutete Zahl der Flugstunden von elf Anwendungen)
- Integration von Drohnen in das bestehende Luftraumsystem
- Regulierung von Drohnen
- Nationale Testgebiete für Drohnen

Eine detaillierte Auflistung der Varianten folgt im Resultate-Teil.

4.1.3 Resultate Schritt 1

4.1.3.1 Persönliches Verhältnis zu Drohnen

Um keinen Anfangs-Bias bei der Beantwortung der Umfrage zu erzeugen, haben wir zu Beginn nicht gefragt, inwieweit die Personen Drohnen ablehnen oder befürworten. Wir haben aber nach ihrem persönlichen bzw. beruflichen Bezug zu Drohnen gefragt, inwieweit sie diese selbst einsetzen und ob sie ein persönliches Interesse haben, dass der Gebrauch von Drohnen gefördert oder limitiert wird. Basierend auf diesen Antworten haben wir die Befragten in die Gruppen «positiv eingestellt» (21 Personen), «neutral eingestellt» (21 Personen; d.h., diese nannten teilweise positive und negative Aspekte gleichermassen), «kritisch eingestellt» (12 Personen) und «unklar» (7 Personen) kategorisiert. Die positiv eingestellten Personen sind primär Nutzer und Interessenvertreter, die negativ eingestellten Personen primär Vertreter der Stakeholder-Gruppe «Umweltorganisationen», was plausibel erscheint. Interessanterweise begannen sich die Leute im Median im gleichen Jahr mit Drohnen zu beschäftigen, in dem auch unsere Medienanalyse startete (2012). 21 Personen nutzen Drohnen persönlich regelmässig, 9 sporadisch und 31 gar nicht.

Ein interessantes, aber nicht unerwartetes Ergebnis ergab die Frage nach der Nutzung eines Drohnentaxis. Wir fragten, ob die Personen in einen ferngesteuerten bzw. autonom betriebenen Zug bzw. Drohne steigen würden, um von A nach B zu gelangen. Während die meisten Befragten einen solchen Zug nutzen würden, würde weniger als die Hälfte eine analog betriebene Drohne nutzen – ob das Fahrzeug durch einen Piloten ferngesteuert oder einen Computer autonom gesteuert wird, hatte praktisch keinen Einfluss auf die Antworten. Als Grund wird überwiegend angegeben, dass ein ferngesteuerter bzw. autonomer Zug sicherer und kontrollierbarer ist. Den Drohnen positiv eingestellte Personen sind klar eher bereit, ein ferngesteuertes oder autonomes Drohnentaxi zu nutzen.

4.1.3.2 Einschätzung der Akzeptanz und Verbreitung von Drohnen

Die Akzeptanz der Drohnentechnologie wurde unterschiedlich ermittelt. Zuerst wurden die Befragten aufgefordert, in einem freien Textfeld die wichtigsten Entwicklungen im Bereich Drohnen anzugeben und diese positiv bzw. negativ zu bewerten. Abbildung 15 zeigt das Ergebnis, geordnet nach Anzahl Nennungen. Die jeweils angegebene Zahl zeigt das positive bzw. negative Gewicht des jeweiligen Faktors. Ein Wert nahe 1 bzw. – 1 bedeutet, dass die meisten Nennungen positiver bzw. negativer Natur waren; ein Wert nahe 0 bedeutet, dass sich positive und negative Bewertungen die Waage halten.¹⁰⁸ Der Wert 1 bei «Luftbilder» beispielsweise bedeutet, dass alle Nennungen dieser Kategorie positiv bewertet wurden; der Wert – 0.8 bei «Überwachungsmöglichkeiten» zeigt, dass die meisten Aussagen dieser Kategorie negativ gewertet wurden. Der Grund, dass bei «Umweltschutz» der Wert – 0.2 vergleichsweise nahe bei null ist, verweist darauf, dass einige der dieser Kategorie zugeordneten Aussagen positiv bewertet wurden (z.B. der Einsatz von Drohnen für das Wildtiermanagement).

¹⁰⁸ Formal wurden die Gewichte wie folgt berechnet. Gegeben eine Kategorie K, wobei x die Anzahl positiver Bewertungen und y die Anzahl negativer Bewertungen von der zu K zugeordneten Aussagen sind. Das Gewicht berechnet sich dann als $(x-y)/\text{Max}\{x,y\}$.

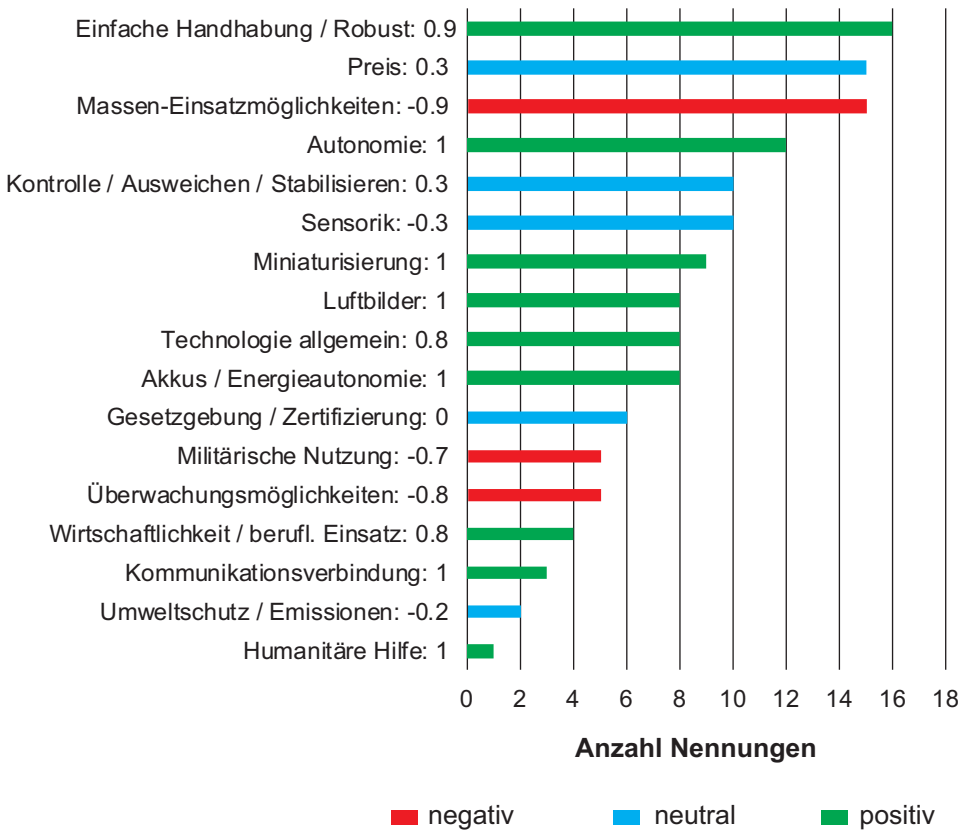


Abbildung 15: Einschätzung der wichtigsten Entwicklungen.

In einer weiteren Frage wurde erhoben, wie die Experten die Akzeptanz der Drohnentechnologie durch die allgemeine Bevölkerung einschätzen und wie alltäglich die Nutzung von Drohnen in zehn Jahren (2027) sein dürfte (Abbildung 16). Hier zeigt sich ein Spannungsfeld: obwohl die Experten der Ansicht sind, dass die Bevölkerung heute mehrheitlich eher kritisch eingestellt ist, rechnen sie dennoch mit einer starken Verbreitung von Drohnen bis ins Jahr 2025. Das weist darauf hin, dass die Experten damit rechnen, dass sich die Einstellung der Bevölkerung wandeln dürfte.

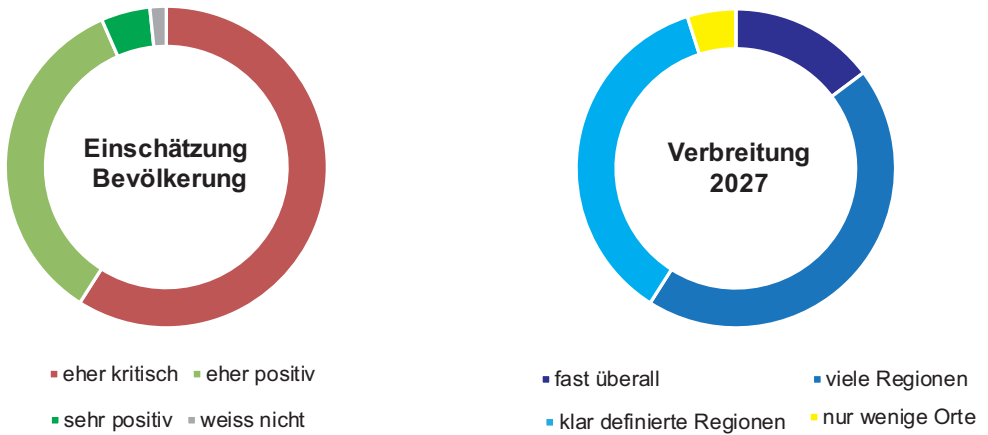


Abbildung 16: Einschätzung der Akzeptanz und der Verbreitung von Drohnen.

Die Akzeptanz und künftige Verbreitung wurde dann auch für definierte Einsatzzwecke erhoben (Landwirtschaftszone, Naturschutzgebiet, grössere Wasserflächen wie z.B. Seen, Innenstadt, bei privaten Feiern, bei Massenveranstaltungen, in Siedlungsgebiet und Agglomeration, entlang von Strassen und Schienen, innerhalb von grösseren Industrieanlagen, entlang von Hochspannungsleitungen und bei Kraftwerken). Wie erwartet (Abbildung 17) hängen sowohl Akzeptanz und erwartete Verbreitung stark vom Einsatzzweck ab.¹⁰⁹ Die Nutzung von Drohnen bei Privatfeiern und in der Landwirtschaft gelten diesbezüglich als am unproblematischsten, eine Nutzung in der Innenstadt gilt klar als am problematischsten.

¹⁰⁹ Akzeptanz wurde mit einer 5-Punkt-Likert-Skala erhoben, Verbreitung mit einer 4-Punkt-Skala; aus diesem Grund wurden die Daten auf 1 normiert. Es handelt sich um ordinalskalierte Skalen, bei denen streng genommen ein Mittelwertvergleich problematisch ist. Aus Gründen der Übersichtlichkeit werden die Daten dennoch mittels Boxplots dargestellt.

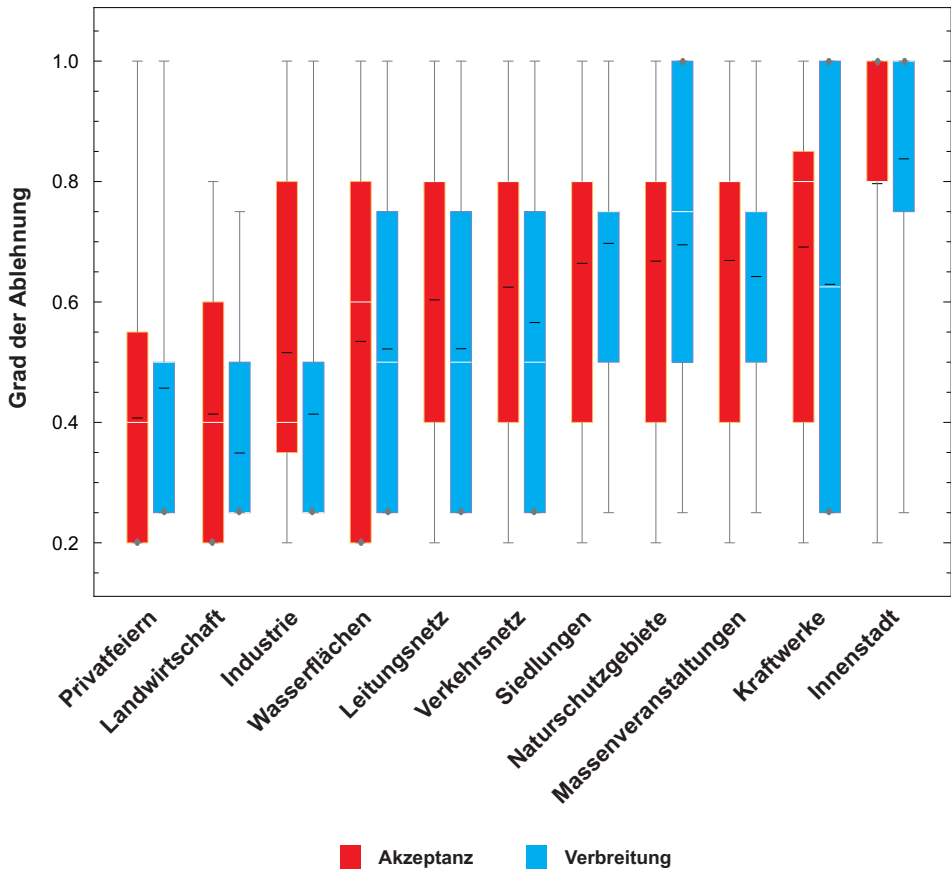


Abbildung 17: Einschätzung Akzeptanz und Verbreitung für definierte Anwendungen. Reihenfolge (jeweils Paar Erlaubtheit/Akzeptanz): Privatfeiern, Landwirtschaft, Industrie, Wasserflächen, Leitungsnetz, Verkehrsnetz, Siedlungen, Naturschutzgebiete, Massenveranstaltungen, Kraftwerke, Innenstadt. Y-Achse: normalisierte Skalen, je tiefer der Wert, desto höher Erlaubtheit/Akzeptanz.

Technische Aspekte spielen für die künftige Verbreitung von Drohnen eine zentrale Rolle. Deshalb wurde den Experten acht verschiedene technische Aspekte

zur Beurteilung vorgelegt.¹¹⁰ Zudem wurde gefragt, wie Drohnen in das bestehende Luftverkehrssystem mit seinen verschiedenen «Playern» (Segelflieger, Gleitschirmflieger, Privatflieger, Helikopter, Militärflieger, Zivilflieger) integriert werden können, sodass das hohe Sicherheitsniveau gewährleistet bleibt. Diese Frage konnte mit einem freien Textfeld beantwortet werden; die Antworten wurden dann durch das Studienteam kategorisiert (15 Personen haben angegeben, dass sie diese Frage mangels Expertise nicht beantworten könnten). Abbildung 18 fasst die Ergebnisse zusammen. Bezüglich Technologie ist auffällig, dass den sicherheitsrelevanten Technologien weit mehr Bedeutung zugemessen wird als Aspekten wie z.B. Batterieleistung oder auch autonomes Fliegen – also Fähigkeiten, welche für die Wirtschaftlichkeit bestimmter Anwendungen zentral sein dürften. Bezüglich Massnahmen zur Luftraumintegration (insbesondere für BVLOS-Flüge) werden Systeme zur Erkennung von Drohnen (Transponder, GPS, Frühwarnsystem) klar priorisiert. Etwas erstaunlich ist die tiefe Nennung von Ausbildungsmassnahmen, was in einer gewissen Spannung zu später erhobenen Aussagen steht.

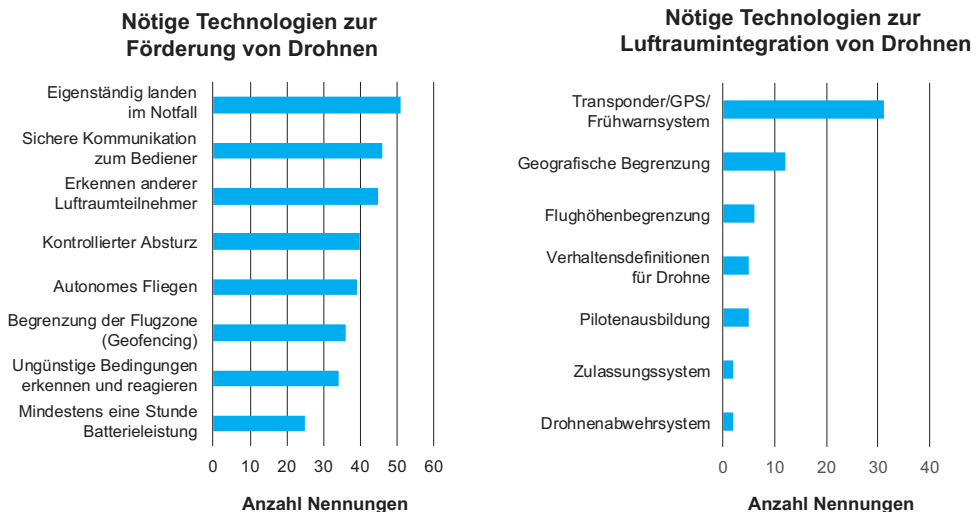


Abbildung 18: Einschätzung technischer Massnahmen für die Förderung der Verbreitung von Drohnen (links) und deren Integration in den Luftraum (rechts).

¹¹⁰ Die Experten konnten auch neue Punkte nennen und es gab insgesamt 50 Vorschläge – die weitest- aus meisten davon waren aber Spezialfälle der bereits genannten Kategorien. Die Vorschläge werden hier deshalb nicht erfasst.

4.1.3.3 Einschätzung der Chancen und Risiken von Drohnen

Den Experten wurden auch Fragen zur Einschätzung von Chancen und Risiken der Drohnentechnologie vorgelegt (die Experten konnten auch zusätzliche Punkte nennen), die von den Experten dann hinsichtlich Relevanz und Akzeptanz (jeweils 4-Punkt-Likert-Skala) bewertet wurden. «Akzeptanz» meint dabei eine Einschätzung dazu, inwieweit die entsprechenden Chancen bzw. Risiken die Akzeptanz von Drohnen in der Bevölkerung befördern bzw. vermindern. Es wurden nicht alle in Kapitel 2 ermittelten Chancen und Risiken aufgenommen, um den Fragebogen nicht zu überlasten. Die Experten wurden schliesslich auch gefragt, inwieweit sie annehmen, dass diese Chancen bzw. Risiken in den nächsten zehn Jahren an Bedeutung gewinnen oder verlieren.¹¹¹

Abbildung 19 zeigt die Ergebnisse der Chancen als Boxplots. Die Nutzung von Drohnen zur Überwachung von Anlagen sowie für Luftaufnahmen waren die klaren Favoriten. Die Einschätzungen der von uns befragten Experten entspricht also weitgehend jenen, die sich in Studien zur Wirtschaftlichkeit von Drohnen finden. Die Einschätzungen der Relevanz der Chancen lagen tendenziell immer über der Einschätzung der Akzeptanz; im Fall der Personenüberwachung lag die Akzeptanz erwartungsgemäss am tiefsten. Alle aufgelisteten Chancen nehmen nach Ansicht der Experten in Zukunft an Bedeutung zu. In den freien Textfeldern wurden zudem noch Rettung (5 Mal) und Forschung (3 Mal) als vielversprechende Chancen für Drohnen angegeben.

¹¹¹ Die Experten konnten angeben, ob die Chancen/Risiken abnehmen (– 1), zunehmen (+ 1) oder gleich bleiben (0, auch die Option «keine Antwort» war möglich). Ermittelt wurde dann der Mittelwert aller Einschätzungen – je näher der Wert bei + 1 (– 1), desto stärker die erwartete Zunahme (Abnahme).

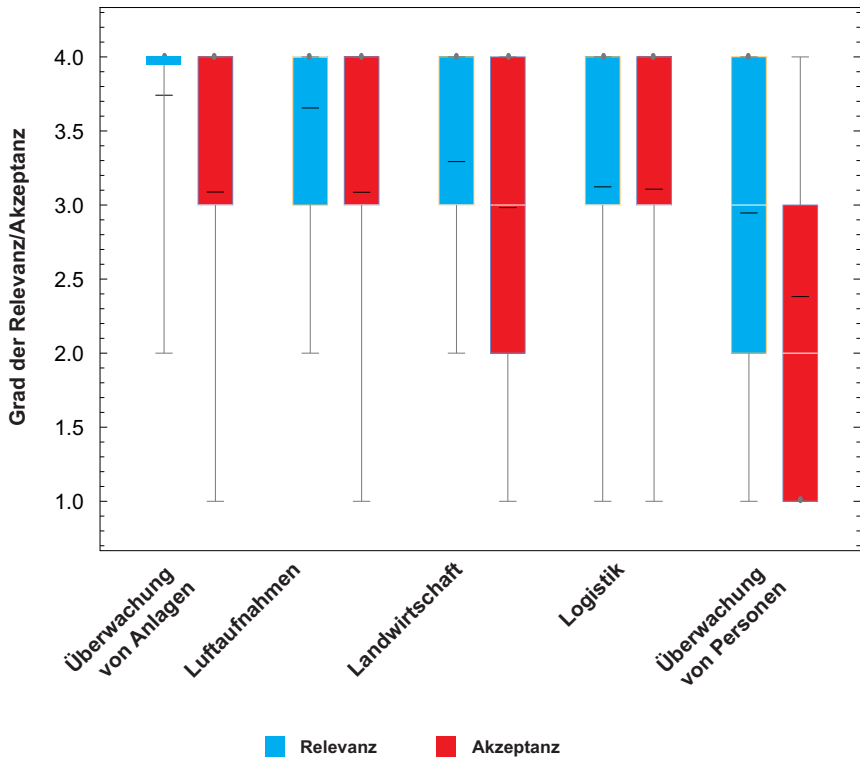


Abbildung 19: Einschätzung von Chancen der Drohnentechnologie. (Paare: Wichtigkeit/Relevanz): Überwachung von Anlagen (0.97), Luftaufnahmen (0.70), Landwirtschaft (0.83), Logistik (0.81), Überwachung von Personen (0.80). In Klammern: Erwarteter Grad der Zunahme der Chance (je höher, desto stärker).

Trotz dieser eher optimistischen Einschätzung der Chancen ergibt die Frage nach dem generellen wirtschaftlichen Potenzial der Drohnentechnologie ein gespaltenes Bild (Abbildung 20). Hier konnten die Experten in einem freien Textfeld eine entsprechende Einschätzung abgeben, die dann vom Studienteam kategorisiert wurde. Demnach ist gut die Hälfte der Experten der Ansicht, dass Drohnen «sehr wichtig» oder «wichtig» für die Schweizer Wirtschaft sein werden. Gut 40% sind aber der Ansicht, dass Drohnen nur für sehr bestimmte Aufgaben wirtschaftliches Potenzial haben oder gar nur ein Nischendasein in wirtschaftlicher Hinsicht haben werden.



Abbildung 20: Einschätzung der Bedeutung der Drohnentechnologie für die Schweizer Wirtschaft.

Bei den Risiken ergibt sich ein uneinheitlicheres Bild im Vergleich zu den Chancen (Abbildung 21). Als wichtigstes Risiko gilt die Sicherheit anderer Luftraumnutzer, gefolgt von der Privatsphäre – letzteres Risiko wird aber bezüglich Akzeptanz durch die Bevölkerung als am zentralsten eingeschätzt. Dies deckt sich mit dem Befund, dass «Verletzung der Privatsphäre» die häufigste Risikokategorie in der Medienanalyse war. Die Experten gehen auch davon aus, dass dieses Risiko in Zukunft noch deutlich zunehmen wird. Erstaunlich ist auch, dass Lärm und Umweltschutz bezüglich Relevanz eher tief eingeschätzt werden; nach Ansicht der Experten würde Letzteres die Akzeptanz der Bevölkerung deutlich am wenigsten beeinflussen. Beim Risiko «Absturz» rechnen die Experten – wohl aufgrund der technologischen Entwicklung – mit einer Abnahme an Relevanz. Im freien Textfeld wurde die terroristische Nutzung von Drohnen (4 Mal) noch als zusätzliches Risiko mehr als einmal genannt.

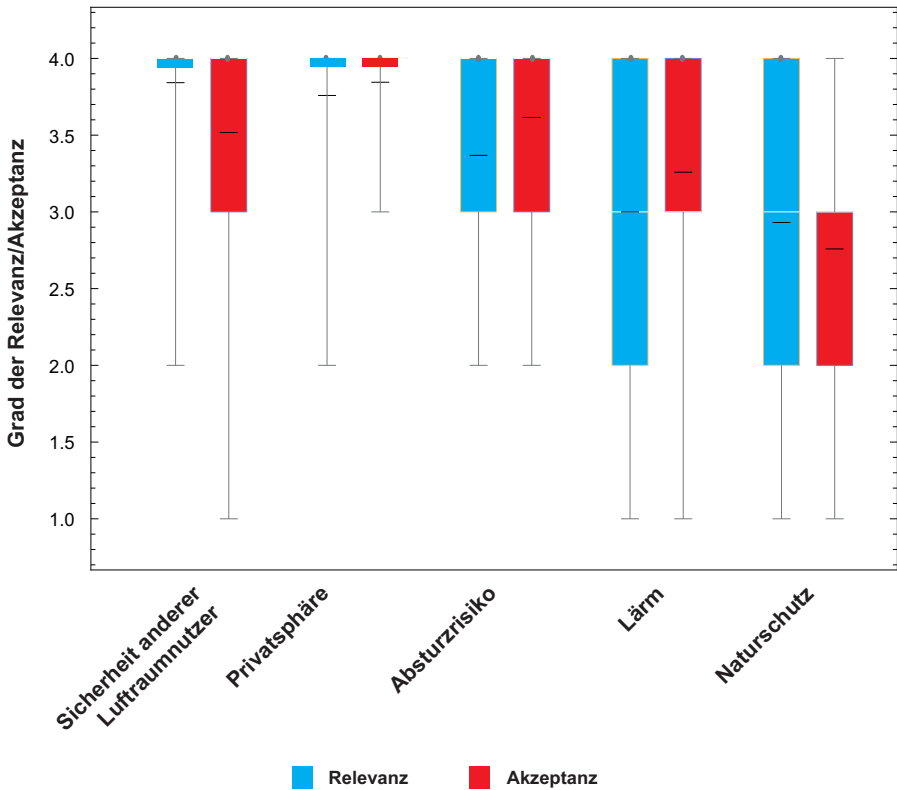


Abbildung 21: Einschätzung von Risiken der Drohnentechnologie. (Paare: Wichtigkeit/Relevanz): Sicherheit anderer Luftraumnutzer (0.46), Privatsphäre (0.71), Absturzrisiko (– 0.06), Lärm (0.03), Naturschutz (0.17). In Klammern: Erwarteter Grad der Zunahme des Risikos (je höher, desto stärker).

4.1.3.4 Förderung der Drohnentechnologie

Die Umfrage ermittelte auch Einschätzungen der Experten zu Fördermöglichkeiten für Drohnen (Abbildung 22). Es standen sechs Varianten zur Auswahl (Mehrfachnennung war möglich), darunter auch die Option «Die Weiterentwicklung der Drohnentechnologie ist Angelegenheit der Wirtschaft und braucht keine staatliche Förderung». Wir haben alle Personen (24), welche diese Option gewählt haben, als

«Förder-Kritiker» bezeichnet und vergleichen diese mit den anderen. Es zeigt sich dabei, dass die Förderung der Forschung zu den rechtlichen, sozialen und wirtschaftlichen Auswirkungen der Drohnentechnologie an staatlichen Hochschulen bei beiden Gruppen auf grösste Zustimmung stösst. Der geringste Unterschied zwischen den beiden Gruppen zeigt sich bei der Förderung der militärischen Nutzung von Drohnen, die insgesamt aber auch den geringsten Zuspruch erhielt. Bei den Fördergebieten schwang die Nutzung in der Landwirtschaft obenauf. Zusätzlich mehr als einmal genannt wurden als Fördergebiete die Nutzung von Drohnen für das Umweltmonitoring (3), für Rettungseinsätze (3), die Erforschung des autonomen Fliegens (3) sowie die Erforschung regulatorischer Aspekte (2).

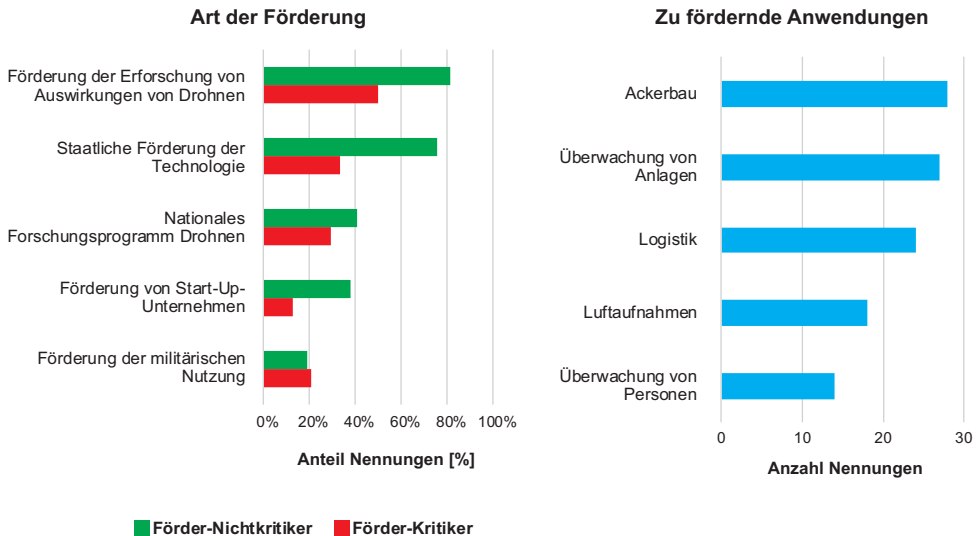


Abbildung 22: Einschätzung der Fördermöglichkeiten für Drohnen.

4.1.3.5 Fragen zu rechtlichen Aspekten

Schliesslich haben wir die Experten auch zu regulatorischen Aspekten der Drohnentechnologie befragt. In einer Selbsteinschätzung haben 37 Experten angegeben, sie seien ziemlich oder sehr mit den regulatorischen Aspekten der Drohnentechnologie vertraut, zwölf waren etwas vertraut und weitere zwölf ein wenig oder gar nicht. Das weist darauf hin, dass die befragten Personen auch in diesem Bereich Expertise aufweisen.

Bei der generellen Beurteilung zeigt sich ein klares Bild (Abbildung 23). Rund zwei Drittel der Experten sind der Ansicht, dass es weitgehende Anpassungen in der geltenden Regulierung braucht bis hin zu neuen Gesetzen. In einem freien Textfeld konnten die Experten auch den Regulationsbedarf konkretisieren. Am häufigsten genannt wurden Einschränkungen des Drohnengebrauchs in bestimmten Gebieten sowie Regeln betreffend die Ausbildung von Drohnenpiloten. Bezüglich regulatorischer Hindernisse für die Weiterentwicklung der Drohnentechnologie wurde das Verbot der BVLOS-Flüge am häufigsten (5) genannt, gefolgt vom neuen EASA-Vorschlag (3), fehlender internationaler Harmonisierung (2) und einem drohenden Regulierungseifer (2).

Es wurde auch gefragt, wie sich die Schweizer Gesetzgebung in Bezug auf die internationale Entwicklung verändern soll (Abbildung 24). Je rund ein Drittel der Experten ist der Ansicht, dass sich die Schweiz den EU-Gesetzen anpassen soll bzw. eine liberalere Gesetzgebung anstreben soll. Eine Minderheit (9) plädiert für strengere Regeln. Hinsichtlich der regulatorischen Veränderungen in den kommenden zehn Jahren rechnen die meisten Experten damit, dass es ein Zulassungsverfahren für Drohnenpiloten, Flugverbote für bestimmte Regionen sowie technische Einschränkungen geben wird. Sieben Personen rechnen mit einer Zulassung von BVLOS-Flügen. Diesbezüglich wurde auch spezifisch gefragt, ob eine solche Zulassung wünschbar wäre. 23 bejahten dies, 28 verneinten dies.

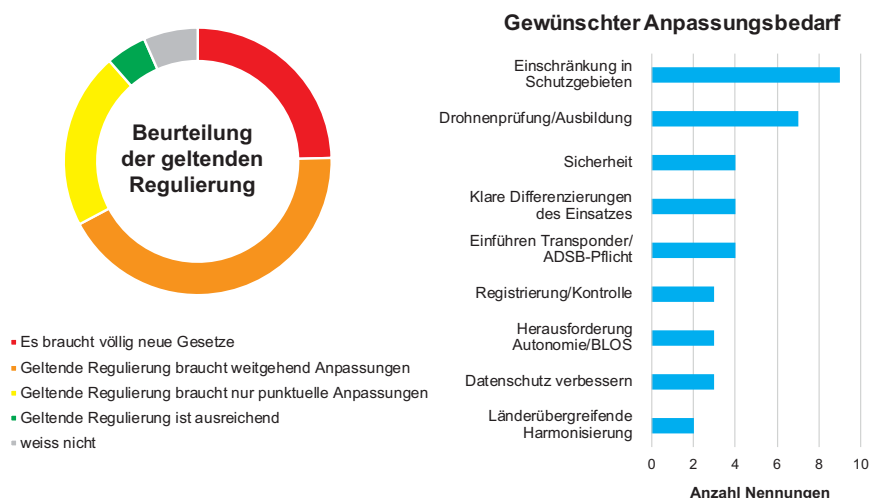


Abbildung 23: Einschätzung des Regulationsbedarfs.

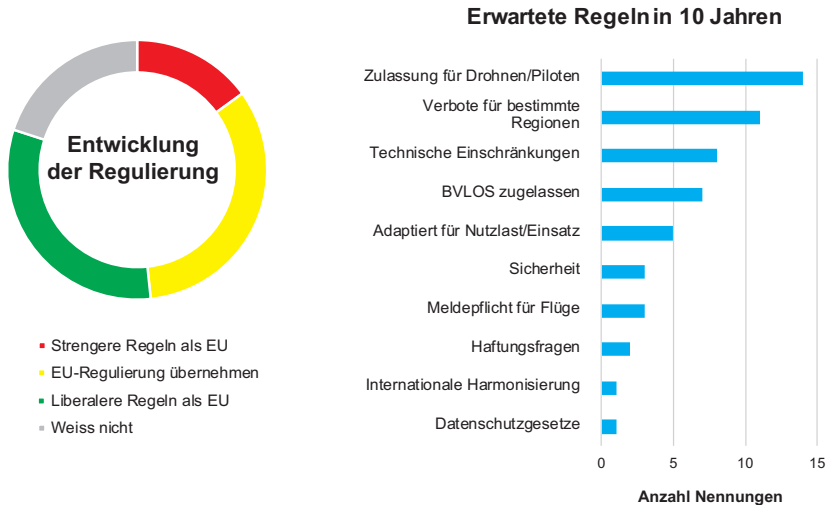


Abbildung 24: Einschätzung der Entwicklung der Regulation.

4.1.4 Resultate Schritt 2

An der zweiten Runde der Befragung nahmen insgesamt 41 Personen teil – 82% jener Personen, die eine Teilnahme zugesagt hatten, und 53% des gesamten Experten-Pools. Hier werden nun die Ergebnisse aller zehn vorgelegten Themenbereiche zusammengefasst. Zu jedem Themenbereich wurden vier Varianten vorgelegt (Ausnahme: Abschnitt 4.1.4.7), die gemäss Präferenzen bewertet (6-Punkt-Likert-Skala) sowie in eine Rangordnung bezüglich Eintretenswahrscheinlichkeit gebracht werden konnten. Die erhobenen Daten wurden auf 1 normiert, damit sie in einer gemeinsamen Grafik gezeigt werden konnten.¹¹² Grafiken werden nur dann gezeigt, wenn signifikante Unterschiede zwischen den Bewertungen auftreten.

¹¹² Im Fall der Likert-Skala wurden die Daten durch 6 geteilt; je näher der Wert bei 1, desto mehr wurde das Szenario präferiert. Im Fall des Rankings wurde für jeden Wert r ($=\text{Rang}$) $1-(r-1)/3$ gerechnet. Für den so ermittelten Wert gilt, dass die Eintretenswahrscheinlichkeit umso höher ist, je näher der Wert bei 1 ist. Die Daten werden mittels Boxplots dargestellt. Statistische Signifikanz wurde mittels des nicht parametrischen Mann-Whitney-Tests berechnet.

4.1.4.1 Bedeutung der militärischen Nutzung von Drohnen für deren Image

Die Medienanalyse hat ergeben, dass in der allgemeinen Berichterstattung die militärische Nutzung von Drohnen dominiert. Da diese mit kontroversen Themen (Krieg gegen den Terror, extralegale Tötungen etc.) verbunden ist, dürfte diese Berichterstattung das Image der Drohnen beeinflussen. Wir wollten nun wissen, wie die Experten die Bedeutung der weiteren militärischen Nutzung der Drohnen für den zivilen Sektor beurteilten. Die einzelnen Entwicklungsvarianten lauteten wie folgt:

1. Die militärische Nutzung von Drohnen hat sich inzwischen etabliert und ist ein gängiges Mittel zur Kriegsführung geworden. Aus diesem Grund wird die militärische Nutzung von Drohnen das «Image» dieser Technologie in der öffentlichen Wahrnehmung nicht mehr weiter negativ prägen. Das positive oder negative Image von Drohnen wird in Zukunft weitgehend von der Art der zivilen Nutzung abhängig sein.
2. Obwohl sich die militärische Nutzung von Drohnen inzwischen etabliert hat und weniger darüber berichtet wird, wird die militärische Nutzung das Image der Technologie auch künftig nachhaltig prägen.
3. Die militärische Nutzung von Drohnen ist lediglich deshalb aus dem öffentlichen Bewusstsein verschwunden, weil weniger zu diesem Thema geschrieben wird. Sobald die militärische Nutzung von Drohnen wieder zunimmt (z.B. aufgrund neuer Kriege) und wieder mehr dazu berichtet wird, wird das Image der Drohnentechnologie erneut stark durch deren militärische Nutzung negativ beeinflusst.
4. Das Image der Drohnentechnologie hat sich von deren militärischen Nutzung entkoppelt. Die Technologie wird in Zukunft weitgehend aufgrund deren zivilen Nutzung beurteilt, unabhängig davon, wie sich deren militärische Nutzung entwickeln wird, d.h. unabhängig davon, ob sich Drohnen als Mittel zur Kriegsführung etablieren oder nicht.

Variante 1 wird von den Experten am ehesten präferiert, aber es fanden sich keine signifikanten Unterschiede. Bezüglich Eintretenswahrscheinlichkeit werden Varianten 1 und 3 signifikant wahrscheinlicher angesehen als 2 und 4. Diese beiden Varianten widersprechen sich allerdings, d.h., die Experten sind sich in der Beurteilung nicht einig.

4.1.4.2 Zukünftige Verbreitung der Drohnentechnologie

Im ersten Teil der Umfrage ergab sich, dass die Mehrzahl der befragten Experten der Ansicht ist, wonach die Schweizer Bevölkerung die Drohnentechnologie eher kritisch ansieht. Gleichzeitig nimmt die Mehrzahl der Experten an, dass Drohnen künftig in vielen Regionen zum Einsatz kommen werden. Aus diesem Grund wurden vier Varianten entwickelt, in denen Verbreitung und Akzeptanz gekoppelt wurden:

1. Die mehrheitlich kritische Einschätzung der Schweizer Bevölkerung zu Drohnen wird sich in Zukunft ins Positive wenden, je mehr diese Technologie Teil des Alltags werden wird.
2. Ein signifikanter Teil der Schweizer Bevölkerung wird auch in Zukunft den Drohnen kritisch gegenüberstehen, obgleich sich die Anwendung der Technologie in Zukunft noch stark verbreiten wird.
3. Die Schweizer Bevölkerung wird in Zukunft ihre mehrheitlich kritische Einstellung zu Drohnen verlieren, doch die Technologie wird sich dennoch nicht so stark verbreiten wie angenommen, was vorab andere Gründe hat (z.B. wirtschaftliche Gründe, d.h., viele Anwendungen werden sich nicht als wirtschaftlich erweisen).
4. Eine anhaltend kritische Einstellung der Schweizer Bevölkerung zu Drohnen wird die Verbreitung der Technologie vermindern.

Varianten 1 und 2 werden sowohl signifikant mehr präferiert als auch signifikant als wahrscheinlicher angesehen als 3 und 4. Das heisst, es stehen sich zwei Beurteilungen gegenüber: Eine Gruppe hält einen positiven Gesinnungswandel für wünschbar und wahrscheinlich, während eine andere Gruppe dies verneint.

4.1.4.3 Bedeutung von Natur-/Umweltschutz für das Image und die Verbreitung von Drohnen

Die Mehrheit der befragten Experten in der ersten Runde der Befragung war der Ansicht, dass Natur- und Umweltschutzaspekte bei der Beurteilung von Drohnen durch die Bevölkerung eine vergleichsweise tiefe Bedeutung haben (im Gegensatz z.B. zum Schutz der Privatsphäre). Auch die Medienanalyse hat eine vergleichsweise geringe Zahl an Presseartikeln zu diesem Thema ergeben, was mit dieser Einschätzung konsistent ist. Gleichzeitig ist die Mehrheit der Experten der Ansicht,

dass künftig Naturschutzgebiete gesetzlich vor Drohnen geschützt werden sollten. Aus diesem Grund haben wir die folgenden Varianten zur Bedeutung der Umweltschutzthematik im Drohnenbereich entwickelt:

1. Natur- und Umweltschutzaspekte spielen deshalb in der Bevölkerung nur eine untergeordnete Rolle, weil über andere Risiken wie z.B. dem Schutz der Privatsphäre viel öfters berichtet wurde. Die Gefahr, dass Natur und Umwelt durch eine massenhafte Nutzung von Drohnen gefährdet werden können, ist aber real und muss durch entsprechende Gesetze verhindert werden.
2. Natur- und Umweltschutzaspekte spielen deshalb in der Bevölkerung nur eine untergeordnete Rolle, weil bereits jetzt in vielen Schutzgebieten Einschränkungen für die Nutzung von Drohnen bestehen und entsprechend auch kaum negative Fälle auftreten. Eine einheitliche Gesetzgebung zur Einschränkung von Drohnenflügen in Schutzgebieten (z.B. nur für Forschungszwecke oder Wildtiermanagement) ist dennoch anzustreben.
3. Natur- und Umweltschutzaspekte spielen deshalb in der Bevölkerung nur eine untergeordnete Rolle, weil Drohnen keine relevante Gefahr für Natur und Umwelt darstellen. Eine beschränkte Nutzung von Drohnen auch für Freizeit Zwecke sollte demnach in Schutzgebieten möglich sein.
4. Die Einschätzung der Experten ist falsch: Drohnen werden häufiger als gedacht in Naturschutzgebieten genutzt und das ist ein Problem, das von der Bevölkerung auch als solches gesehen wird. Die Bevölkerung würde auch ein weitgehendes Verbot der Nutzung von Drohnen in solchen Gebieten unterstützen.

Varianten 1 und 2 werden sowohl signifikant mehr präferiert als auch signifikant als wahrscheinlicher angesehen als 3 und 4. Das heisst, es stehen sich erneut zwei Beurteilungen gegenüber: Eine Gruppe ist deutlich kritischer gegenüber den Umweltauswirkungen von Drohnen und sieht dies in erster Linie als eine Folge fehlender Berichterstattung. Eine andere Gruppe hält den Schutz der Umwelt von Drohnen bereits für gewährleistet, akzeptiert aber auch entsprechende Vorschriften.

4.1.4.4 Nutzung von Drohnen im urbanen Raum

Eine klare Mehrheit von Experten war in der ersten Runde der Ansicht, dass die Nutzung von Drohnen im urbanen Raum (Innenstädte, Siedlungsräume) nur für streng definierte Zwecke (z.B. Nutzung durch Polizei oder spezialisierte Inspektionsteams) erlaubt sein sollte und auch kaum auf Akzeptanz durch die Bevölkerung stossen würde (u.a. Sicherheitsaspekte und Schutz der Privatsphäre). Dies steht im Widerspruch zu möglichen wirtschaftlichen Nutzungsmöglichkeiten, insbesondere in der Logistik. Aus diesem Grund wurden die folgenden vier Varianten für die Nutzung von Drohnen im urbanen Raum entwickelt:

1. Drohnen werden im urbanen Raum auch künftig nur für streng definierte Aufgaben eingesetzt und aus diesem Grund wird die logistische Nutzung von Drohnen (z.B. für Paketzustellung) in diesen Räumen weitgehend verboten bleiben.
2. Die Drohnentechnologie wird sich in ausreichendem Masse entwickeln, sodass auch deren breite Nutzung im urbanen Raum möglich werden wird. Analog zu dieser Entwicklung wird sich die Akzeptanz der Nutzung von Drohnen im urbanen Raum erhöhen.
3. Es werden vorab technologische und wirtschaftliche Gründe sein, die einer breiten Nutzung von Drohnen im urbanen Raum im Weg stehen werden. Eine breite Nutzung einer Zustelllogistik in diesen komplexen Räumen wird sich bis auf Weiteres nicht durchsetzen können.
4. Es wird auch im urbanen Raum definierte Ausnahmen (z.B. Flugkorridore, Einsatz durch ausgewählte Nutzer wie z.B. Spitäler) geben, die eine Nutzung von Drohnen für logistische Zwecke erlauben.

Hier herrscht weitgehend Einigkeit unter den Experten: Szenario 4 wird sowohl am stärksten präferiert als auch als am wahrscheinlichsten angesehen. Das bedeutet, dass eine reglementierte Nutzung von Drohnen für definierte Ausnahmen auch im urbanen Raum möglich ist.

4.1.4.5 Risiken der Nutzung von Drohnen

Nach Ansicht einer Mehrheit von Experten in Runde eins sind Risiken wie Absturz oder Gefährdung anderer Luftraumnutzer am relevantesten; doch die Bevölkerung würde den Schutz der Privatsphäre als grösstes Risiko für die Akzeptanz der Drohnentechnologie ansehen. Entsprechend sind Berichte zum Thema Verletzung der

Privatsphäre die am häufigsten publizierte Kategorie in den Medien. Um diese Diskrepanz in der Risikowahrnehmung besser zu verstehen, wurden die folgenden vier Varianten entwickelt:

1. Das Risiko «Privatsphäre» wird von der Bevölkerung fälschlicherweise als wichtigstes Risiko angesehen. Gefahren wie Absturz von Drohnen oder auch deren missbräuchliche Nutzung bis hin zur terroristischen Nutzung sind viel relevanter. Entsprechend sollten sich Strategien zur Risikominimierung auf diese Punkte konzentrieren.
2. Die Gefährdung der Privatsphäre ist zu Recht ein stark gewertetes Risiko. Auch aus diesem Grund sollte die Nutzung von Drohnen in Siedlungsräumen stark eingeschränkt werden.
3. Künftige Drohnen werden aus Gründen der Flugsicherheit, zur Gewährleistung autonomer Flugeigenschaften etc. sowieso mit optischen Sensoren ausgerüstet sein, von denen ein Risiko der Verletzung der Privatsphäre ausgehen kann. Doch angesichts der zunehmenden Verbreitung digitaler Sensorik in allen Lebensbereichen wird das Risiko «Privatsphäre» durch die Bevölkerung generell an Bedeutung abnehmen.
4. Die Gefährdung der Privatsphäre ist zwar zu Recht ein stark gewertetes Risiko. Es wird aber technische Lösungen geben, welche dieses Risiko minimieren können (z.B. Geofencing von Gebieten mit Schutz der Privatsphäre). Deshalb wird die Bedeutung dieses Risikos in Zukunft abnehmen.

Tendenziell wird Variante 1 am ehesten präferiert (aber nicht signifikant) sowie signifikant am wahrscheinlichsten angesehen. Dieses Ergebnis steht in einem gewissen Spannungsverhältnis zu den Ergebnissen der Runde 1. Es zeigt, dass das Thema «Privatsphäre» vermutlich auch in Zukunft kontrovers diskutiert wird und dadurch eventuell auch den Blick auf andere Risiken verstellen könnte.

4.1.4.6 Wirtschaftliche Bedeutung von Drohnen

Die befragten Experten waren sich in der ersten Runde bezüglich der künftigen wirtschaftlichen Bedeutung von Drohnen für die Schweiz uneinig. Derzeit zeigt sich zudem, dass einige Hersteller von Drohnen Stellen abbauen, weil die Verkaufszahlen für consumer drones sinken. Um die wirtschaftliche Bedeutung von Drohnen besser zu verstehen, wurden den Experten folgende Varianten vorgelegt.

1. Die Nutzung von Drohnen für Freizeit Zwecke hat bereits ihren Zenit überschritten und ist für die Schweiz wirtschaftlich uninteressant. Wirtschaftlich relevant sind vorab der professionelle Einsatz von Drohnen für Inspektionszwecke und Luftaufnahmen, gekoppelt mit entsprechender Analytik. Die Schweizer Industrie sollte sich als Anbieter von Gesamtlösungen für solche Probleme positionieren, wobei die Drohne nur ein Werkzeug darstellt, das vermutlich an anderen Industriestandorten produziert wird.
2. Die wirtschaftlich interessante Entwicklung im Bereich Drohnen besteht in der Entwicklung von Technologie, welche das Einsatzspektrum von Drohnen erweitern, z.B. autonomes Fliegen. In diesem Bereich liegt das grösste Potenzial für die Schweizer Industrie.
3. Die Schweiz hat das Potenzial, Drohnentechnologie für alle Einsatzformen zu produzieren inklusive vergleichsweise billige Systeme (analog zur «Swatch» in der Uhrenindustrie).
4. Das wirtschaftliche Potenzial der Drohnentechnologie ist generell überschätzt. Für viele heute diskutierte Anwendungen, insbesondere in der Logistik, der Landwirtschaft oder der Infrastrukturkontrolle (z.B. Bahngelände), sind Drohnen keine wirtschaftliche Lösung, weil bessere Alternativen existieren (z.B. Satellitentechnologie in der Landwirtschaft). Drohnen bleiben eine Nischenanwendung, in der die Schweiz zwar eine Rolle spielen kann, die gesamtwirtschaftlich aber nicht relevant ist.

Varianten 2 und 1 werden sowohl signifikant mehr präferiert als 3 und 4 als auch signifikant als wahrscheinlicher angesehen. Das bedeutet, dass nach Ansicht der Experten das Potenzial für die Schweizer Wirtschaft vorab in Hochtechnologie-Entwicklung und der Entwicklung von Gesamtlösungen für professionelle Anwendungen liegen dürfte. Dies deckt sich mit den entsprechenden Entwicklungen in der Schweizer Start-up-Szene.

4.1.4.7 Einsatzformen von Drohnen

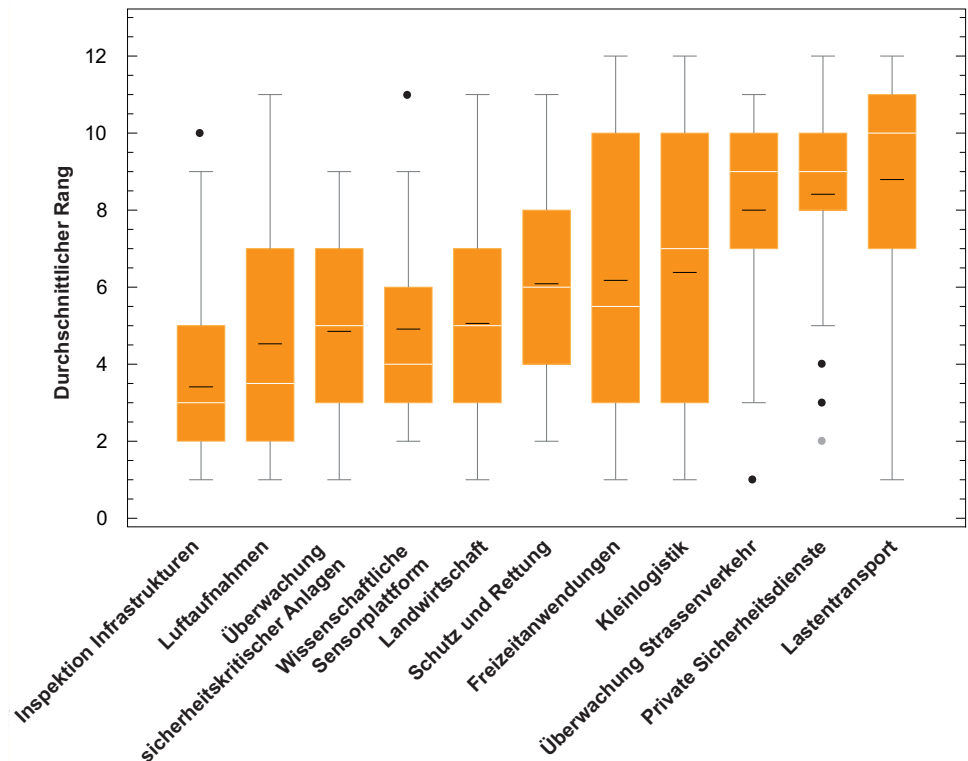


Abbildung 25: Anwendungsformen, gezeigt wird die Rangfolge der erwarteten Flugstunden (d.h., links ist die häufigste Anwendung): Inspektion von Infrastrukturen; Professionelle Foto- und Filmaufnahmen; Überwachung sicherheitskritischer Anlagen (Kraftwerke, Chemieanlagen etc.); Einsatz als wissenschaftliche Sensorplattform (Kartografie, Vermessung, Messung von Schadstoffen); Landwirtschaft (sowohl Überwachung als auch Ausbringen von Wirkmitteln, z.B. zur Schädlingsbekämpfung); Schutz und Rettung (Polizei, Feuerwehr, REGA, Katastrophenschutz, Search and Rescue); Freizeitanwendungen (Flugvergnügen, private Foto- und Filmaufnahmen etc.); Warentransport kleinerer Nutzlasten (z.B. Post- und Paketzustellung); Überwachung des Strassenverkehrs; Private Sicherheitsdienste; Lastentransport (Ablösung bemannter Helikopter).

Bezüglich der künftigen Nutzungsformen von zivilen Drohnen in der Schweiz ist das Meinungsspektrum der befragten Experten recht breit und auch die Faktenanalyse ergab eine Vielzahl von Möglichkeiten. Aus diesem Grund wurden den Experten elf Varianten vorgelegt und sie wurden gebeten zu schätzen, in welchen Bereichen in zehn Jahren (2027) die meisten Flugstunden mit zivilen Drohnen generiert werden. Dafür mussten diese Anwendungen in die entsprechende Reihenfolge gebracht werden. Abbildung 25 zeigt das Ergebnis, geordnet nach mittlerer Rangfolge. Die Ränge 1 (Infrastrukturüberwachung) und 2 (Luftaufnahmen) sind konsistent mit den bisherigen Ergebnissen. Interessant ist, dass sowohl Freizeit-anwendungen als auch der Einsatz für Logistikzwecke hinten platziert sind.

4.1.4.8 Integration von Drohnen in das bestehende Luftraumsystem

Viele geplante Anwendungen von Drohnen werden einen Einfluss in kontrollierte Lufträume verlangen, um wirtschaftlich betrieben werden zu können (z.B. Inspektionen von Hochspannungsleitungen oder Paketdienste). Kontrollierte Lufträume werden durch die Flugsicherung betreut. Die Koordination der verschiedenen Luftverkehrsteilnehmer im kontrollierten Luftraum erfolgt bislang via Sprechfunk. Fluglotsen und Piloten kommunizieren untereinander auf fest zugewiesenen Funkfrequenzen. Fluglotsen erteilen Freigaben zum Einflug in kontrollierte Lufträume ausschliesslich via Sprechfunk. Ein Ersatz des Sprechfunks durch einen digitalen Datenaustausch (Data Link) ist in der bemannten Luftfahrt auch mittelfristig kaum absehbar. Angesichts dieser Vielzahl an Herausforderungen wurden folgende Varianten den Experten vorgelegt:

1. Für Flüge im kontrollierten Luftraum mit zivilen Drohnen wird der Sprechfunk von einem Drohnenpiloten wahrgenommen. Dieser kommuniziert mit dem Fluglotsen via Funk oder spezieller Telefonleitung. Der Drohnenpilot sendet die Anweisungen des Fluglotsen über eine Bodenstation (Remote Pilot Station) an die Drohne.
2. Zivile Drohnen, die im kontrollierten Luftraum unterwegs sind, verfügen über einen Flugfunkempfänger und -sender. Sie sind mit einer maschinellen Spracherkennung und einem Sprachgenerator ausgerüstet. Dadurch ist der Fluglotse in der Lage, über Sprechfunk mit der Drohne zu kommunizieren, also genau so wie bislang mit bemannten Luftfahrzeugen. Die bestehenden Flugsicherungsverfahren können beibehalten werden. Die

- Drohne erhält die Fähigkeit, weitgehend autonom im kontrollierten Luftraum zu operieren.
3. Für zivile Drohnen wird es ein eigenes Unmanned Air Traffic Management (U-Space) geben. Die Kommunikation zwischen Drohne und Flugsicherung geschieht dabei via Data Link. Für die bemannte Luftfahrt wird das bisherige Air Traffic Management (ATM) mit der bewährten Kommunikation via Sprechfunk beibehalten. Die Flugsicherung (skyguide) stellt die Separation zwischen unbemannten und bemannten Luftfahrzeugen sicher. Dazu verfügt sie über neue Informationstechnologie und neue Verfahren, um Drohnen und bemannte Luftfahrzeuge gleichzeitig zu koordinieren.
 4. Es wird keine zivilen Drohnen im kontrollierten Luftraum geben.

Hier herrscht klare Einigkeit unter den Experten: Szenario 3 wird sowohl am stärksten präferiert als auch als am wahrscheinlichsten angesehen. Das bedeutet, dass eine Variante mit einem erheblichen Forschungsbedarf am besten abschneidet. Hier wurde deshalb auch gefragt, ob der Bund ein nationales Forschungsprogramm aufgleisen soll, um die Integration von zivilen Drohnen in das bestehende Luftverkehrssystem zu untersuchen (BVLOS-Flüge im kontrollierten Luftraum). Zweck des Programms wäre vor allem eine Koordination der verschiedenen Stakeholder (BAZL, skyguide, Drohnenbetreiber, Drohnenhersteller, Forschungseinrichtungen, Verbände bzw. Vertreter der bisherigen Luftraumnutzer wie Aeroclub, Airlines, REGA, Schweizer Luftwaffe etc.). 23 Experten befürworteten ein solches Programm, zehn lehnen es ab.

4.1.4.9 Regulierung von Drohnen

Die grosse Mehrheit der befragten Experten ist der Ansicht, dass aufgrund der Drohnentechnologie umfassende Anpassungen in der Gesetzgebung benötigt würden, insbesondere zur Regulierung der Luftraumintegration ziviler Drohnen. Die Regulationsanalyse hat ergeben, dass die Drohnenregulierung derzeit nach einer Fall-zu-Fall-Basis abläuft. Wir haben deshalb mit den folgenden vier Varianten nachgefragt:

1. Die Schweiz schreitet bei der Regulierung der Drohnen voran mit dem Ziel, eine möglichst umfassende und strenge Gesetzgebung zu erreichen. Kernpunkte dieser Gesetzgebung sind ein Zulassungssystem für Piloten,

Ausbildungsverpflichtungen, Registrierung von Drohnen, Pflicht für die Nutzung von Transpondern und ähnlichen Systemen sowie klar definierte Schutzgebiete, in denen die Nutzung von Drohnen weitgehend verboten ist.

2. Die Schweiz wartet ab, wie die Regulierung ziviler Drohnen in anderen Ländern gelöst wird (insbesondere in der EU) und übernimmt dann entsprechende Verfahren, Technologien und Regularien.
3. Die Gesetzgebung in der Schweiz wird derart ausgestaltet sein, dass ein möglichst liberaler Umgang mit Drohnen möglich wird. Es wird zwar klar definierte Schutzzonen geben, in denen die Nutzung stark eingeschränkt wird (z.B. Naturschutzgebiete, städtischer Raum), und es werden die nötigen technischen Sicherheitsvorrichtungen verlangt, um andere Luft-raumbenutzer nicht zu gefährden. Ansonsten bleibt aber der Spielraum für zivile Nutzer gross.
4. Der bisherige gesetzgeberische Umgang mit Drohnen wird fortgesetzt, d.h., es wird nur eine Fall-zu-Fall Anpassung bestehender Gesetze geben und es wird mit Ausnahmegewilligungen operiert.

Hier zeigt sich ein uneinheitliches Bild: Szenario 3 wird am stärksten präferiert, gefolgt von Szenario 1 – hier zeigen sich also erneut die beiden Lager betreffend kritischer Haltung gegenüber Drohnen. Allerdings wird Variante 2 als am wahrscheinlichsten angesehen, d.h., man rechnet mit einem vergleichsweise kleinen regulatorischen Spielraum für die Schweiz.

4.1.4.10 Nationale Testgebiete für Drohnen

Die letzte Frage zielte auf ein vergleichsweise technisches Problem. In anderen Ländern wie USA und Schweden gibt es ausgedehnte Versuchsgebiete, um Drohnen und deren Betrieb unter realen Einsatzbedingungen (Wetter, Funkverbindung über weite Strecken, anspruchsvolles Gelände) zu testen. Solche Testgebiete dürften für die Weiterentwicklung der Drohnentechnologie wichtig sein, sodass wir die folgenden vier Varianten vorgelegt haben:

1. Ein nationales Testzentrum für zivile Drohnen wird in der Schweiz eingerichtet, zum Beispiel im Tessin. Wesentlicher Bestandteil des Testzentrums ist ein für andere Luftverkehrsteilnehmer (zeitweise) gesperrter Luft-raum (segregated Airspace).

2. Für Testflüge ziviler Drohnen unter realen Bedingungen werden bereits bestehende (zeitweise) gesperrte Lufträume der Schweizer Armee genutzt.
3. Flugversuche mit zivilen Drohnen werden im Ausland durchgeführt. Insbesondere werden dazu die bestehenden Testgebiete in Schweden, USA und Kanada genutzt.
4. Es braucht kein spezifisches Testgebiet oder Testzentrum für Flugversuche mit zivilen Drohnen und entsprechend wird es beides auch nicht geben.

Hier werden die Szenarien 2 und 1 signifikant gegenüber 3 und 4 präferiert; 1 und 2 werden auch als signifikant wahrscheinlicher angesehen. Man wünscht demnach ein solches Testgebiet, wobei man die bestehenden für die Luftwaffe gesperrten Lufträume dafür nutzen will, was einen gewissen Zielkonflikt mit der Luftwaffe darstellen könnte.

4.2 Festlegung des Spielraums für Empfehlungen

4.2.1 Übersicht

In diesem Abschnitt werden nun die Faktoren identifiziert, welche bezüglich der künftigen Entwicklung zu unterschiedlichen Szenarien führen können und demnach Gegenstand von Empfehlungen sein können. Wir nennen diese die Steuerfaktoren, welche in erster Linie beurteilt werden müssen, denn die daraus resultierenden Entscheide bestimmen zu einem grossen Teil die künftige Entwicklung. Steuerfaktoren sind zudem solche, welche direkt durch politische Entscheide adressiert werden können, auch wenn natürlich das Ergebnis der Steuerung mit einer gewissen Unsicherheit behaftet ist. Für die Steuerfaktoren werden in diesem Bericht Empfehlungen abgegeben.

Von den Steuerfaktoren zu unterscheiden sind die Voraussetzungs- und Resultatsfaktoren. Die Voraussetzungs-faktoren lassen sich in der Regel nur indirekt beeinflussen und unterliegen auch einer gewissen Rückkopplung je nach den aus

den Steuerungen resultierenden Resultaten. Die in diesem Bericht abgegebenen Empfehlungen betreffen nicht die Voraussetzungs-faktoren.

Dasselbe gilt für die Resultatfaktoren. Diese sind konzeptionell so zu verstehen, dass sie aus entsprechenden Entscheiden auf der Steuerebene resultieren, wenn auch nicht vollständig determiniert sind – denn natürlich haben auch die Voraussetzungs-faktoren einen wichtigen Einfluss auf die Entwicklung der Szenarien. Die Steuerbarkeit technischer Entwicklungen hat ihre Grenzen. Abbildung 26 stellt das Verhältnis dieser Faktoren dar und zeigt damit auch den Fokus der Empfehlungen dieses Berichts.



Abbildung 26: Arten von Faktoren, die primär als Voraussetzungen gelten und kaum steuerbar sind, direkt beeinflussbare Steuerfaktoren und daraus sich ergebende Resultatfaktoren.

4.2.2 Nur indirekt beeinflussbare Voraussetzungs-faktoren

Die Verbreitung einer Technologie hängt grundlegend von zwei Faktoren ab: zum einen von den Eigenschaften der Technologie selbst, zum anderen von der Akzeptanz der Technologie. Beide Faktoren sind nur sehr bedingt steuerbar. Man kann zwar ein geeignetes Klima für neue technische Innovationen schaffen (z.B. durch finanzielle Förderung oder regulatorische Rahmenbedingungen). Ob aber die nötigen Technologien entwickelt werden können und auf welche Weise genau sie funktionieren werden, hängt von einer Vielzahl von Elementen ab, die nicht geplant werden können (man kann höchstens die Verhinderung einer Technologie halbwegs steuern). Dasselbe gilt für die Akzeptanz einer Technologie durch die Nutzer (die den wirtschaftlichen Erfolg bestimmen) und die Bevölkerung (die indirekt Einfluss auf den rechtlichen Rahmen nehmen kann). Im Fall der Drohnentechnologie gestalten sich diese Faktoren wie folgt:

- **Technologische Faktoren:** Diese wurden im Abschnitt 2.3. ausführlich vorgestellt. Man kann diese Technologien in die Bereiche Steuerung/Autonomiefähigkeit, Energieversorgung und *detect and avoid* unterteilen. Steuerfaktoren haben auf folgende Weise Einfluss auf die technologischen Faktoren: Zum einen können sie Voraussetzung dafür sein, dass gewisse regulatorische Vorgaben überhaupt umgesetzt werden können (z.B., wenn man sich für die Entwicklung eines *Unmanned Traffic Management* Systems entscheidet). Zum anderen kann die Entwicklung gewünschter Technologien gefördert werden. Ergebnisfaktoren wiederum beeinflussen die Richtung der technologischen Entwicklung, z.B. indem neue Anwendungsfelder mit hohem Wachstumspotenzial identifiziert werden, die aber entsprechende technische Innovationen (z.B. autonomes Fliegen) voraussetzen.
- **Akzeptanzfaktoren:** Nach Analyse der Faktorenbasis und Stakeholder-Meinungen sehen wir vorab drei Elemente, die hier wichtig sind: zum ersten das Risiko «Privatsphäre». Drohnen sind hier allerdings nur eine von vielen Komponenten, wie der digitale Wandel unser Verständnis von Privatsphäre beeinflusst. Entsprechend halten wir es für falsch, dieses Element als Steuerfaktor aufzufassen, zumal das öffentliche Verständnis von Privatsphäre im Fluss ist. Zweitens dürften unerwünschte Ereignisse die Akzeptanz von Drohnen beeinflussen – namentlich zu nennen ist hier insbesondere das Risiko eines Unfalls mit Todesfolge oder die Nutzung einer

Drohne für einen Terroranschlag im nahen Umfeld. Drittens dürfte die mediale Rezeption der Drohnen generell (welche natürlich auch von den ersten beiden Faktoren abhängt) ein wichtiges Element sein. Zu nennen ist hier insbesondere die (zwar abnehmende) Verknüpfung des Drohnenbegriffs mit umstrittenen militärischen Nutzungen der Technologie. Ergebnissfaktoren dürften insbesondere durch den Aspekt der Verbreitung der Drohnen auf die Akzeptanz einwirken, wenngleich das Ergebnis schwer voraussehbar ist: mehr Drohnen können diese alltäglich werden lassen, was die Akzeptanz fördert. Doch ebenso ist denkbar, dass das Störpotenzial zu- und die Akzeptanz entsprechend abnimmt.

4.2.3 Beeinflussbare Steuerfaktoren

Aufgrund der Analyse der bisherigen Ergebnisse sehen die Autoren vier relevante Steuerfaktoren, die nun im Detail besprochen werden. Die sich daraus ergebenden Empfehlungen folgen in Kapitel 5.

4.2.3.1 Rechtsbegriff

Wie unter Abschnitt 2.1 ausgeführt, herrscht derzeit eine Unsicherheit bezüglich der Bestimmung des Begriffs «Drohne» im geltenden Regelwerk der Schweiz, aber auch international. Der Begriff selbst fehlt im nationalen Regulativ vollkommen. Grundsätzlich stehen dem Schweizer Gesetzgeber zwei Varianten zur Verfügung:

- **Variante 1 – Verzicht auf die Schaffung einer eigenständigen Kategorie «Drohnen»:** In diesem Fall stehen unbemannte Luftfahrzeuge bzw. Modellluftfahrzeuge und Drohnen gemeinsam im Fokus des entsprechenden Regulierungsbereiches (wie dies heute in der Schweiz der Fall ist) und es wird darauf verzichtet, eine rechtlich eigenständige Kategorie «Drohnen» zu schaffen. Regulatorische Unterschiede können trotzdem vorgesehen werden – abhängig von Einsatzarten oder auch -zwecken (wird z.B. ein Modellluftfahrzeug nur auf einem privaten Vereinsareal eingesetzt, können die sicherheitstechnischen Anforderungen anders definiert werden, als wenn Erkundungsflüge über bewohntem Gebiet gemacht werden). Zudem ist nach Auffassung der Autoren der Begriff «Drohne» in die luftfahrtrechtliche Gesetzgebung einzuführen, um damit dem Verständnis der Normadressaten gerecht zu werden. Die ganze Welt spricht

- von Drohnen, da ist es nicht einsehbar, weshalb Drohnen unter den nicht passenden Begriff Modellluftfahrzeuge subsumiert werden sollen; oder
- **Variante 2 – Schaffung einer eigenständigen Rechtsklasse «Drohnen»:** Man schafft eine spezifische, für Drohnen angepasste Gesetzgebung, um Drohnen klar von anderen unbemannten Luftfahrzeugen (z.B. Modellluftfahrzeugen) zu unterscheiden. Wie bereits ausgeführt, kann sich eine solche Unterscheidung nicht rein auf den Verwendungszweck abstützen, sondern muss auf objektiven Kriterien beruhen. Ob eine solche Abgrenzung tatsächlich scharf gezogen werden kann, erscheint aus heutiger Sicht – insbesondere auch nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie – zweifelhaft, da es sowohl sehr unterschiedliche Modellluftfahrzeuge wie auch inzwischen unzählige Drohnenmodelle gibt und sich diese beiden Kategorien nicht bei sämtlichen Modellen durch objektive Kriterien zuordnen lassen.

Aus Sicht der Autoren weist die Variante 1 wesentliche Vorteile auf, weil einerseits keine grundlegenden Umstellungen der aktuell bestehenden und im Grundsatz funktionierenden Regulation vorgenommen werden muss. Im Zuge einer (notwendigen) Anpassung der einschlägigen gesetzlichen Grundlagen können durchaus sachliche Differenzierungen getroffen werden, die nicht am Begriff «Drohne» oder «Modellluftfahrzeug» anknüpfen, sondern sich an unterschiedlichen Verwendungsarten und -zwecken orientieren.

4.2.3.2 Luftraumeinbindung

Ein zentrales Element für den wirtschaftlichen Erfolg der Drohnentechnologie ist ihre Einbindung in das herrschende Luftraumsystem. Hier stehen folgende zwei Varianten zur Verfügung:

- **Variante 1 – Einbindung der Drohnen unter Verwendung der heute geltenden Regeln im Luftraum:** Gemäss dieser Variante werden Drohnen gemäss den geltenden Regeln in den Luftraum integriert. Dies bedeutet für kleinere Drohnen, dass BVLOS-Flüge wohl weitgehend nicht möglich sind. Die Piloten grösserer Drohnen würden in analoger Weise wie die bemannte Luftfahrt mit der Flugsicherung kommunizieren.

- **Variante 2 – Schaffung einer eigenständigen Luftraumordnung durch ein Unmanned Traffic Management System:** Es wird ein *Unmanned Traffic Management System* (U-Space) geschaffen, das alle in Abschnitt 2.2.4 beschriebenen Komponenten enthält.

Nach Ansicht der Autoren ist Variante 2 gegenüber der Variante 1 klar vorzuziehen, will man das Potenzial der Drohnentechnologie ausschöpfen. Künftige Anwendungen von Drohnen in Bereichen wie Gütertransport, Logistik oder Inspektionen an Infrastrukturanlagen werden wohl ausserhalb der Sichtweite (BVLOS) stattfinden. Deshalb wird eine Überwachung und Koordination der entsprechenden Einsätze notwendig sein, also ein Flugverkehrsmanagement für unbemannte Luftfahrzeuge. Die Entwicklung eines solches *Unmanned Traffic Management* (U-Space) wird aufwendig sein; entsprechend wichtig ist es, bestehende Infrastrukturen zu nutzen. So könnte das 4GSM- oder zukünftige 5GSM-Mobilfunknetzwerk attraktive Möglichkeiten bieten. Hier böte sich der Schweiz eine Chance, mit einem Demonstrationsprojekt Innovation zu fördern. Der *Einsatz eines Unmanned Traffic Management Systems* benötigt einen Zeithorizont von fünf bis zehn Jahren und bedingt eine Reihe von Massnahmen, die in Kapitel 5 ausgeführt werden.

4.2.3.3 Förderung im Bereich ziviler Drohnen

Für die Förderung im Bereich ziviler Drohnen stehen nach Einschätzung des Studententeams die folgenden Varianten zur Verfügung:

- **Variante 1 – umfassende Förderung:** Drohnentechnologie wird als strategische Komponente der in der Schweiz laufenden Digitalisierungsinitiativen verstanden und sowohl die Technologie selbst als auch Anwendungsaspekte werden umfassend gefördert.
- **Variante 2 – keine Technologieförderung, Förderung der Erforschung von Anwendungsaspekten:** Die Weiterentwicklung der Technologie wird (finanziell) nicht staatlich gefördert, sondern ist Sache der Wirtschaft bzw. der technischen Hochschulen, welche autonom über den Status der Forschung in diesem Bereich entscheiden. Hingegen werden spezifische Anwendungsaspekte der Drohnentechnologie gefördert – zum einen die Entwicklung des Unmanned Traffic Management Systems (U-Space) und «Detect and avoid»-Technologien (DAD), zum anderen gesellschaftliche Auswirkungen der Drohnentechnologie.

- **Variante 3 – keine Förderung:** Es erfolgen keine spezifischen (staatlichen) Fördermassnahmen, die über die jetzt laufenden Aktivitäten hinausgehen.

Nach Ansicht der Autoren ist Variante 2 zu bevorzugen. Für eine Technologieförderung im grossen Stil mit Fokus auf Drohnen erscheint uns das wirtschaftliche Potenzial zu gering. Welche Anwendungen sich durchsetzen werden, ist heute noch schwer abzuschätzen. Entsprechend macht es mehr Sinn, die Weiterentwicklung der Technologie selbst den autonomen Entscheiden der technischen Hochschulen und involvierten Unternehmen zu überlassen. Die Entwicklung eines U-Space hingegen, die gemäss Abschnitt 4.2.3.2 angestrebt werden sollte, ist mit staatlicher Förderung zu unterstützen, zumal hier auch die Regulierungsbehörden und andere staatliche Stakeholder involviert sind. Dazu kommen Forschungen zu offenen Fragen im Bereich Unfall- und Umweltschutz.

4.2.3.4 Spezifische Drohnenregulierung

Wie im Kapitel 3 ausgeführt, besteht insbesondere im Bereich technische Sicherheit bzw. Genehmigungsregime ein Bedarf zur Anpassung der gesetzlichen Grundlagen. Die bestehenden Grundlagen genügen den Ansprüchen des Legalitätsprinzips nur teilweise; die Verfahren und Grundsätze, die bei der Beurteilung von Bewilligungen im Zusammenhang mit zivilen Drohnen zur Anwendung kommen, sind nicht transparent und für die Drohnenutzer und damit Normadressaten nicht verlässlich nachvollziehbar; der Vollzug im Drohnenbereich basiert vollständig auf Einzelfallentscheiden, was insbesondere auch angesichts der Entwicklung der Gesuchszahlen als nicht mehr adäquat zu beurteilen ist. Der risikoorientierte Ansatz, der aktuell verfolgt wird, überzeugt hingegen und sollte beibehalten werden. Eine Forderung, die gleichzeitig auch schwierige Vollzugsprobleme in anderen Rechtsbereichen (wie z.B. Datenschutz, Persönlichkeitsschutz, Eigentums- und Besitzerschutz) beseitigen oder zumindest mindern würde, besteht in der Einführung einer angemessenen Registrierungspflicht und der Schaffung eines zugehörigen Registers für zivile Drohnen. Nur wenn Drohnen auf ihren Halter bzw. Nutzer zurückgeführt werden können, können Verstösse in verschiedenen Rechtsbereichen, die inhaltlich – auch für Drohnenennutzungen – ausreichend reguliert sind, aber aufgrund von Vollzugsproblemen («wer steckt hinter einer Drohne») nicht gehandelt werden können, wirksam bekämpft werden.

Internationale Entwicklungen spielen natürlich eine bedeutende Rolle, zumal ein europäisch harmonisierter Regulationsrahmen für die wirtschaftliche Entwicklung der Technologie und damit auch für die wirtschaftlichen Perspektiven der Drohnenindustrie von zentraler Bedeutung ist. Dennoch besteht ein nationaler Spielraum, der grundsätzlich ausgeschöpft werden muss, soweit dies rechtlich möglich und für die Schweiz nach Abwägung aller wesentlicher Interessen auch erstrebenswert erscheint.

4.2.4 Resultatfaktoren

Es werden vorab zwei Resultatfaktoren unterschieden, die direkt durch die Steuerungsfaktoren beeinflussbar sind:

- **Generelle Verbreitung:** Dies betrifft die generelle Zahl der genutzten Drohnen. Bisherige Erfahrungen lassen vermuten, dass auch noch in den nächsten Jahren die Hobbydrohnen zahlenmässig dominieren werden, womit aber nicht gesagt ist, dass auch diese Drohnen die Hauptlast der Flugstunden generieren. Massnahmen wie eine Registrierungspflicht, welche von den Autoren dieser Studie gefordert werden, dürften zum bereits festgestellten, sich verflachenden Trend der Anzahl verkaufter Hobbydrohnen beitragen. Damit dürfte sich der Anteil der Flugstunden von Drohnen im professionellen Bereich weiter verstärken. Weitere Empfehlungen wie die Ausbildung von Drohnenpiloten dürften zudem zur besseren Respektierung bereits bestehender Schutzzonen (Naturschutzgebiete, Zonen um Flughäfen) beitragen. So gesehen kann durch geeignete Massnahmen nach Ansicht der Autoren die Verbreitung von Drohnen in geregelte Bahnen gelenkt werden.
- **Definierte Einsatzgebiete:** Welche der derzeit erwogenen Einsatzformen von Drohnen sich langfristig wirtschaftlich durchsetzen werden, kann, wie bereits ausgeführt, nur schwer prognostiziert werden. Klar ist aber nach Ansicht der Autoren, dass ein U-Space ein zentraler «Enabler» vieler möglicher Anwendungen ist. Entsprechend ist nach Ansicht der Autoren dieser Bereich prioritär zu behandeln.

5. Empfehlungen

In diesem Kapitel wird zusammenfassend dargelegt, welche Empfehlungen zum Umgang mit der Drohnentechnologie nach Ansicht der Autoren umgesetzt werden sollten, wie der künftige Stakeholder-Dialog strukturiert werden kann und welche spezifischen Massnahmen zur Forschungsförderung eingeleitet werden sollten.

5.1 Priorisierte Empfehlungen

Wir halten es für zentral, dass die nachfolgenden vier Empfehlungen prioritär behandelt werden. Die erste Empfehlung betrifft die regulatorische Einbettung ziviler Drohnen, zumal die Ausführungen in Abschnitt 2.1. und im gesamten Regulationskapitel deutlich machen, dass hier dringender Handlungsbedarf besteht. Die zweite Empfehlung betrifft die Schaffung eines Systems für *Unmanned Air Traffic Management* (U-Space), weil – wie in Abschnitt 2.2.4 ausgeführt – ohne ein solches System das wirtschaftliche Potenzial der Drohnen nicht genutzt werden kann. Die dritte Empfehlung betrifft zentrale Rechtsanpassungen zur Gewährleistung der Durchsetzung des geltenden Rechts, zumal die Ausführungen zu einzelnen Bereichen deutlich gemacht haben, dass die geltende Rechtslage in weiten Strecken ausreicht, der Vollzug aber kaum geprüft werden kann. Die vierte Empfehlung schliesslich betrifft die internationale Entwicklung; auch die befragten Experten sprechen sich tendenziell dafür aus, dass die Schweiz die rechtlichen Spielräume soweit möglich nutzen soll.

Empfehlung 1 – transparenter Regulierungsrahmen: Der heutige, intransparente und auf Ausnahmeregelungen bzw. Einzelfallentscheidungen aufbauende Regulierungsrahmen muss geändert werden. Insbesondere die gesetzlichen Grundlagen für die sicherheitstechnische Beurteilung von zivilen Drohnen sind zur Wahrung der Gesetzmässigkeit und der Rechtsgleichheit anzupassen. Der Begriff «Drohne» ist – ohne ihn technisch von den Modellluftfahrzeugen abzugrenzen – im Regulativ einzuführen und die wesentlichen inhaltlichen Grundsätze des Bewilligungsregimes sollten mindestens auf Verordnungsstufe enthalten sein, was heute nicht der

Fall ist. Es sollten unterschiedliche Regulierungen für Drohnen und Modellluftfahrzeuge dort vorgesehen werden, wo sie aufgrund tatsächlicher Verhältnisse gerechtfertigt erscheinen und nicht begrifflich begründet sind. Dem stünde auch die voraussichtliche, künftige EU-Regulierung nicht entgegen, da auf EU-Ebene auf eine spezifische Drohnenregulierung bzw. auf eine Unterscheidung zwischen Drohnen und (anderen) Modellluftfahrzeugen verzichtet werden wird.

Empfehlung 2 – Schaffung eines U-Space: Forschungen und Stakeholder-Dialoge, welche zur Schaffung eines Flugverkehrsmanagements für unbemannte Luftfahrzeuge (*Unmanned Traffic Management*; UTM/U-Space) beitragen, sind zu fördern. Dies betrifft erstens Kollisionsschutzsysteme für Drohnen. Diese dürften zunächst einmal kooperative Systeme sein, die z.B. aus einem kleinen Sender (Transponder) bestehen, der in jedem Flugobjekt – bemannt oder unbemannt – installiert ist. Das heisst, es findet eine gegenseitige Erkennung statt und das unbemannte Flugobjekt muss dem bemannten Flugobjekt ausweichen. Ein nicht kooperatives System erfordert wohl mehr Entwicklungszeit, da mehrere verschiedene Sensoren als Informationsquelle notwendig sind, um ein Flugobjekt eindeutig zu erkennen. Für beide Ansätze müssen Zulassungsvorschriften erarbeitet werden. Zweitens muss eine Drohne für den Flugbetrieb ohne direkten Sichtkontakt auch mit der Fähigkeit ausgestattet sein, einer drohenden Kollision mit dem Gelände oder bodengebundenen Hindernissen vorzubeugen und dem Hindernis entsprechend auszuweichen. Es ist zu prüfen, inwieweit entsprechende Warnsysteme¹¹³ aus der bemannten Luftfahrt miniaturisiert und für den Drohnenflug angepasst werden können. Alternativ ist zu prüfen, ob das oben beschriebene nicht kooperative Kollisionsschutzsystem auch zur Detektion von Bodenhindernissen genutzt werden kann. Drittens sollte die Schaffung eines U-Space auch geeignete Massnahmen zur Durchsetzung von Flugverboten und -einschränkungen in Schutzgebieten umfassen (z.B. mittels Geofencing).

¹¹³ Diese Systeme laufen unter dem Sammelbegriff *Terrain Awareness System* (TAWS). TAWS benutzen zum einen digitale Gelände- und Hindernisdaten, zum anderen Radarsensoren.

Empfehlung 3 – regulatorische Änderungen: In spezifisch-regulatorischer Hinsicht sollten folgende Einzelempfehlungen umgesetzt werden, um die Durchsetzung des geltenden Rechts sicherzustellen:

- **Empfehlung 3A – Registrierungspflicht:** Betreffend Datenschutz- und Persönlichkeitsrecht sowie Eigentums- und Besitzschutz steht für die Autoren der vorliegenden Studie ausser Frage, dass die bereits heute zur Verfügung stehenden Abwehrinstrumente inhaltlich ausreichen. Im Bereich des Vollzugs ist jedoch eine Registrierungspflicht erforderlich, damit den materiellen Normen auch tatsächlich Beachtung verschafft werden kann. Ein tolerierter anonymer Betrieb ziviler Drohnen lässt die (zweckmässigen) Schutzbestimmungen im Bereich Datenschutz und Persönlichkeitsrecht sowie eigentums- und besitzrechtliche Abwehrmassnahmen über weite Strecken als wirkungslos erscheinen. Das zentrale Problem liegt heute nicht in den Schutzbestimmungen als solchen, sondern in der fehlenden Durchsetzungsmöglichkeit im Falle eines unbestimmbaren Betreibers einer Drohne. Zudem sollte ein solches System auch ein elektronisches «Call Sign» haben, was zur Identifizierung der Drohne mit einem Transmitter ständig emittiert wird (idealerweise ein weitreichendes Signal mit tiefem Energielevel, z.B. tiefe Frequenzbänder oberhalb der Langwelle). Damit könnte eine Drohne immer identifiziert werden. Auch eine Anwendung basierend auf dem 5GMS-Mobilfunknetz kann diese Aufgabe übernehmen. Eine Registrierungspflicht erlaubt es zudem auch, das wirtschaftliche Potenzial ziviler Drohnen genauer abschätzen zu können.
- **Empfehlung 3B – Ausbildung:** Es sind Richtlinien für die Ausbildung von Drohnenpiloten zu bestimmen und umzusetzen, wobei man sich an der *Notice of Proposed Amendment 2017-05 (A)* der EASA orientieren soll. Demnach sind drei Kategorien von UAS unter einem Abfluggewicht von 150 Kilogramm vorgesehen: OPEN, SPECIFIC und CERTIFIED. Darin werden pro Kategorie auch die Kompetenzen und damit auch die zu vermittelnden Lerninhalte des *Remote Pilote* definiert. Dieses

Ausbildungskonzept soll unter Führung des BAZL und unter Einbezug der relevanten Interessengruppierungen wie z.B. Schweizerischer Verband Ziviler Drohnen, Aero-Club der Schweiz und der Industrie erfolgen. Die Autoren dieses Berichtes könnten sich folgende Struktur eines solchen Ausbildungsprogramms vorstellen (Tabelle 8):

Tabelle 8: Mögliche Elemente eines Ausbildungsprogramms für Drohnenpiloten.

Kategorie	Ausbildung	Anbieter
OPEN	Info mit Best Practices als App (auch für Hobbydrohnenpiloten) sowie online Training mit Test (Anwendungen mit definiertem Risiko und Performance)	BAZL und BAZL zugelassene Organisationen, mit regelmässigen Updates
SPECIFIC	Im Rahmen des SORA-Prozesses soll die Ausbildung thematisiert werden, die vom BAZL geprüft wird. Die konkreten Anforderungen hängen von der Anwendung und dem Fluggerät ab. Basierend darauf soll ein Onlinetest für Drohnen mit den entsprechenden Fachgebieten analog dem PPL-Test (Pilotenausbildung) entwickelt werden. ¹¹⁴	BAZL und BAZL zugelassene Organisationen
CERTIFIED	Hier sollten die Vorgaben der EASA übernommen werden; die Ausbildung sollte in einem Trainingszentrum vorgenommen werden.	vom BAZL zugelassene professionelle Trainingszentren analog den Flugschulen

¹¹⁴ Hinweis: Eine Ausbildung für die Erstellung von SORA wird heute schon als Weiterbildung von der ZHAW in Winterthur angeboten.

- **Empfehlung 3C – Informationspflichten:** Insbesondere die Hersteller bzw. Händler von Drohnen vorab im Hobbybereich sollten verpflichtet werden, dass den Verkaufs- bzw. Versandpackungen die massgeblichen Bestimmungen zur geltenden Rechtslage – insbesondere zum Schutz der Privatsphäre und zum Umweltschutz – beigelegt werden. Dies kann auch Faktenblätter mit Verhaltensmassregeln beinhalten, wie sie z.B. derzeit im Bereich «Drohnen und Wildtierschutz» erarbeitet werden (vgl. dazu Abschnitt 3.3.6.2).

Empfehlung 4 – internationale Spielräume ausschöpfen: Die Schweiz soll weiterhin aktiv an der internationalen Ausgestaltung der Drohnenregulierung mitwirken. Es soll aber keine pauschale Übernahme von EU-Vorschriften zu zivilen Drohnen gestützt auf das Luftverkehrsabkommen im Zentrum stehen, sondern ein sorgfältiges Abwägen von Vor- und Nachteilen und ein konsequentes Ausschöpfen der vorhandenen Spielräume erscheinen angezeigt, soweit dies im Interesse der Schweizer Stakeholder liegt.

5.2 Strukturierung des Stakeholder-Dialogs

Für die Einführung eines *Unmanned Traffic Management Systems* (U-Space) hat die EU im Rahmen des SESAR eine Roadmap entwickelt und im Rahmen des Europäischen Forschungsprogramms Horizon 2020 werden derzeit Projekte für den Aufbau eines U-Space bearbeitet. Analog sollten in der Schweiz die Hochschulen mit Aviatik-Kompetenzen, Aviatik-Verbände, die Industrie und das BAZL eine *Swiss Roadmap* für die Einführung eines U-Space in der Schweiz entwerfen. Das Ziel des entsprechenden Dialogs sollte es sein, dass die Schweiz als erstes europäisches Land einen U-Space einführen kann, wobei die im Rahmen von SESAR, den Horizon-2020-Projekten etc. generierten Forschungsergebnisse genutzt werden sollten. Für zukünftige Projektausschreibungen im Rahmen von Horizon 2020 und dem nachfolgenden EU-Forschungsprogramm sollte sich die Schweizer Industrie und Hochschulen via ARCS zu einem Konsortium zusammenschliessen, damit in geeigneter Weise an den EU-Forschungsprogrammen partizipiert werden kann. Entsprechend formulieren wir die unterstützende Empfehlung 5 wie folgt:

Empfehlung 5 – Stakeholder-Dialog zum Thema U-Space: Die Entwicklung einer *Roadmap* zum Thema U-Space soll durch das am 30. Juni 2017 gegründete *Aviation Research Center Switzerland* (ARCS)¹¹⁵ in Zusammenarbeit mit dem BAZL wahrgenommen werden. Im *Innovation Board* des ARCS sind die wichtigsten Stakeholder der Schweizer Aviatik vertreten – unter anderem die Flughäfen Zürich, Genf und Basel, skyguide, die Fluggesellschaft Swiss, die Rega, Aerosuisse, der Aero-Club der Schweiz, die Ruag und die Luftwaffe.

Ein weiteres Themenfeld mit Dialogbedarf betrifft die Schaffung einheitlich definierter Schutzzonen. Wie bereits ausgeführt, erlaubt es das bereits bestehende rechtliche Instrumentarium den Gemeinden und Kantonen, den Drohnenflug in sensiblen Gebieten einzuschränken oder zu verbieten, z.B. zum Schutz von Wildtieren oder zur Sicherung des Rechts auf Privatsphäre. Allerdings besteht die Gefahr, dass eine Vielzahl unterschiedlicher Regeln zur Anwendung kommt, welche es den Nutzern von Drohnen faktisch deutlich erschwert, sich regelkonform zu verhalten. Entsprechend formulieren wir die unterstützende Empfehlung 6 wie folgt:

Empfehlung 6 – Stakeholder-Dialog zum Thema Schutzgebiete:

Es soll ein Gremium unter Einbindung aller relevanter Stakeholder geschaffen werden, das *Best Practices* zur Festlegung von Gebieten, die nicht beflogen werden dürfen, und den damit zusammenhängenden Verhaltensmassregeln einheitlich definiert. Es empfiehlt sich, dem Bundesamt für Umwelt hier die Federführung zu übertragen.

¹¹⁵ Das ARCS wurde vom Zentrum für Aviatik der ZHAW School of Engineering, Winterthur, dem Center for Aviation Competence der Universität St. Gallen und dem Lehrstuhl Management of Network Industries der ETH Lausanne gegründet.

5.3 Forschungsbedarf

Derzeit laufen schweizweit und auf internationaler Ebene zahlreiche Initiativen zur Forschungsförderung rund um das Thema «Digitalisierung». Hierzulande manifestiert sich das durch den Bericht «Strategie digitale Schweiz»¹¹⁶, dem sogenannten «Digitalen Manifest»¹¹⁷ oder öffentlichen Veranstaltungen wie der «Konferenz digitale Schweiz»¹¹⁸ und dem «Digitaltag»¹¹⁹, die beide im November 2017 stattgefunden haben. Hier gilt es in Erinnerung zu rufen, dass Drohnen gewissermassen den materiellen, auf die Welt zugreifenden Arm der Digitalisierung bilden, je mehr sie mit komplexer Sensorik und Steuerungstechnik ausgerüstet werden und damit an Autonomie gewinnen. Sie haben das Potenzial, die «ikonische Maschine» der Digitalisierung zu werden, wie dies einst die Dampfmaschine gewesen ist.

Entsprechend macht es Sinn, Forschungen im Bereich Drohnen nicht auf diese Technologie zu fokussieren, sondern diese im Kontext der laufenden Forschungsanstrengungen im Bereich Digitalisierung anzusiedeln. Viele für die Entwicklung von Drohnen relevante Fragen (z.B. Autonomiefähigkeit) sind auch bei anderen digitalen Technologien relevant – und viele sich hier stellende kritische Fragen z.B. bezüglich Privatsphäre betreffen andere digitale Technologien gleichermassen. Entsprechend sollte die Erforschung des Potenzials des Drohnenmarktes verstärkt mit der Digitalisierung und der Industrie 4.0 verknüpft werden. Drohnen können beispielsweise mit Nutzung der dritten Dimension schnell Daten generieren. Um diese Daten zu nutzen, müssen Fähigkeiten zur Analyse und Visualisierung dieser Daten sowie deren Verknüpfung mit bestehenden Daten von andern Quellen systematischer erforscht werden. Aber auch im Bereich Begleitforschung sehen wir Handlungsbedarf, insbesondere im Umweltbereich.

Angesichts der dynamischen Entwicklung im Bereich Digitalisierung halten wir es für falsch, ein separates Forschungsprogramm zu Drohnen inklusive Begleitforschung zu lancieren; vielmehr sollte diese Thematik integral an geeigneter Stelle in den jetzt laufenden Forschungsprogrammen zur Digitalisierung eingebunden werden. Allerdings benötigt die Prüfung der zahlreichen Komponenten für ein

¹¹⁶ Zugänglich auf der Website des Bundesamtes für Kommunikation: <https://www.bakom.admin.ch/infosociety>.

¹¹⁷ Siehe dazu: <https://digitalswitzerland.com/2016/11/22/digitales-manifest-fuer-die-schweiz/>.

¹¹⁸ Siehe dazu: <https://www.bakom.admin.ch/bakom/de/home/digital-und-internet/strategie-digitale-schweiz/konferenz.html>.

¹¹⁹ Siehe dazu: <http://digitaltag.swiss/>.

U-Space, deren Entwicklung im Rahmen der genannten Programme integriert werden kann, eine eigenständige Infrastruktur. Deshalb formulieren wir die Empfehlung 7 wie folgt:

Empfehlung 7 – nationales Testgebiet für Drohnen: Es soll ein nationales Testgelände zu Forschungszwecken etabliert werden, das auf die Unterstützung in Form von Förderung durch den Bund und Beteiligungen durch die Industrie zählen kann. Mit einem solchen Testgebiet lassen sich insbesondere die zahlreichen technischen Fragen, die mit der Schaffung eines U-Space verbunden sind, systematisch und unter realistischen Bedingungen prüfen.

Literaturverzeichnis

- 20 Minuten (2016): Drohne brummte im Zickzack über Ostschweiz. (12.05.2016) URL: <http://www.20min.ch/schweiz/ostschweiz/story/29358931> [Stand: 18.09.2017].
- Aargauer Zeitung (2016): Drohnen-Angriffe. Das Gefängnis Lenzburg installiert eine Abwehranlage. (18.11.2016) URL: <https://www.aargauerzeitung.ch/aargau/kanton-aargau/drohnen-angriffe-das-gefaengnis-lenzburg-installiert-eine-abwehranlage-130724323> [Stand: 18.09.2017].
- Albers, Marion (2005): Informationelle Selbstbestimmung. Baden-Baden: Nomos-Verlag.
- Applin, Sally (2016): Deliveries by Drone. Obstacles and Sociability. In: Custers, Bart (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 71–92.
- Arora, Siddhartha (2016): Swiss Commercial Drone Industry. In: CFAC-TAS Volume 9 (DIKE): CFAC – The Aviation Series. St. Gallen: DIKE.
- Bahlo, Birger (2017): Inspektion auf See. In: Drohnenmagazin, Nr. 3. 32–36.
- Barasona, J. A., Mulero-Pázmány, M., Acevedo, P. et al. (2014): Unmanned Aircraft Systems for studying spatial abundance of ungulates: relevance to spatial epidemiology. PLoS One 9: e115608.
- Barfi (2017): Siegeszug von Drohnen in der Schweiz hält an. (25.05.2017) URL: <https://barfi.ch/Wissen/Siegeszug-von-Drohnen-in-der-Schweiz-haelt-an> [Stand: 21.09.2017].
- Barnstorff, K. (2015): Test-Engine Electric Plane completes Successful Flight. NASA Langley Research Center. (30.04.2015) URL: <https://www.nasa.gov/langley/ten-engine-electric-plane-completes-successful-flight-test> [Stand: 18.09.2017].
- Bartzen Culver, Kathleen (2014): From Battlefield to Newsroom. Ethical Implications of Drone Technology in Journalism. In: Journal of Mass Media Ethics, 29, 52–64.
- Bauhaus Luftfahrt (2012): Die Grenzen der Batterietechnologie. URL: <https://www.bauhaus-luftfahrt.net/forschung/energietechnologien-antriebsysteme/die-grenzen-der-batterietechnologie/> [Stand 20.09.2017].
- BAZL (2017): Regulierung von Drohnen aus der Sicht der Sicherheit. Vortrag NAMAC-1 am 21.02.2017 in Bern.

- BAZL (2016): Zivile Drohnen in der Schweiz. Eine neue Herausforderung. URL: https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Gut_zu_wissen/Drohnen_und_Flugmodelle/Bericht%20zivile%20Drohnen.pdf.download.pdf [Stand: 03.11.2017].
- Belser, Eva Maria (2013): Zur rechtlichen Tragweite des Grundrechts auf Datenschutz. Missbrauchsschutz oder Schutz der informationellen Selbstbestimmung? In: Forum Europarecht, Nr. 30. 19–45.
- Bergen, Johan, Stohl, Rachel, Alexander, Georgieff (2013): The Other Side of Drones. Saving Wildlife in Africa and Managing Global Crime, *Conflict Trends*, Nr. 3. 3–9.
- Biermann, Kai, Alexander Wiegold (2015): Drohnen. Chancen und Gefahren einer neuen Technik. Berlin: Ch. Links Verlag.
- Bolman, Brad (2016): A revolution in agricultural affairs. Dronoculture, precision, capital. In: Sandvik, K. B., Gabrielsen Jumbert, M. (Hrsg.): *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 129–152.
- Boon, Kristen E., Lovelace, Douglas C. (2014): The domestic use of unmanned aerial vehicles. *Commentary on Security Documents*. New York: Oxford University Press.
- Boucher, Philip (2015): Domesticating the Drone. The Demilitarisation of Unmanned Aircraft for Civil Markets. In: *Science & Engineering Ethics* 21. 1393–1412.
- Boucher, Philip (2016): «You Wouldn't have Your Granny Using Them». Drawing Boundaries Between Acceptable and Unacceptable Applications of Civil Drones. In: *Science & Engineering Ethics* 22. 1391–1418.
- Bracken-Roche, Clara (2016): Domestic drones. The politics of verticality and the surveillance industrial complex. In: *Geographica Helvetica*, Nr. 71. 167–172.
- Bruderer, B., Komenda-Zehnder, S. (2005): Einfluss des Flugverkehrs auf die Avifauna – Schlussbericht mit Empfehlungen. Schriftenreihe Umwelt Nr. 376. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Bundeskriminalamt (2015): Gefährdungslage bei Grossveranstaltungen. Bundeskriminalamt informiert Wirtschaft. (28.05.2015) URL: https://www.bka.de/DE/Presse/Listenseite_Pressemitteilungen/2015/Presse2015/150528_Wirtschaftskonferenz.html [Stand: 18.09.2017].
- Calo, M. Ryan (2011): The Drone as Privacy Catalyst. In: *Stanford Law Review*, Nr. 64. 29–33.
- Chabot, D., Bird, D. M. (2012): Evaluation of an off-the-shelf Unmanned Aircraft System for surveying flocks of geese. *Waterbirds* 35, 170–174.

- Chéhab, Marc (2017): So will Skyguide Flugzeuge vor Drohnen schützen. (15.09.2017) URL: <https://www.tagesanzeiger.ch/schweiz/standard/So-will-Skyguide-Flugzeuge-vor-Drohnen-schuetzen/story/14911128> [Stand: 19.09.2017].
- Christian, A., Cabell, R. (2017): Initial Investigation into the Psychoacoustic Properties of Small Unmanned Aerial System Noise. American Institute of Aeronautics and Astronautics. (May 2017) URL: <https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/20170005870.pdf> [Stand: 18.09.2017].
- Clarke, Roger, Bennett Moses, Lyria (2014): The regulation of civil drones. In: Impact on public safety, Computer Law & Security Review, Nr. 30. 263–285.
- Clarke, Roger (2014a): Understanding the drone epidemic. In: Computer Law & Security Review, Nr. 30. 230–246.
- Clarke, Roger (2014b): The regulation of civilian drones. Impact on behavioural privacy. In: Computer Law & Security Review, Nr. 30. 286–305.
- Clarke, Roger (2014c): What drones inherit from their ancestors. In: Computer Law & Security Review, Nr. 30. 247–262.
- Clarke, Roger (2016): Appropriate regulatory responses to the drone epidemic. Computer Law & Security Review. Nr. 32. 152–155.
- Crampton, Jeremy W. (2016): Assemblage of the vertical. Commercial drones and algorithmic life. In: *Geographica Helvetica*. Nr. 71. 137–146.
- Custers, Bart (2016a) (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer.
- Custers, Bart (2016b): Flying to New Destinations. The Future of Drones. In: ders. (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 371–386.
- Custers, Bart et al. (2015): Het gebruik van dronen. Een verkennend onderzoek naar onbemande luchtvaartuigen. Den Haag: WODC.
- D'Andrea, Raffaello (2014): Can Drones Deliver? In: *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* Nr. 11 (3). 647–648.
- Dalamagkidis, Konstantinos, Kimon P. Valavanis, Les A. Piegł (2012): On Integrating Unmanned Aircraft Systems into the National Airspace Systems. Issues, Challenges, Operational Restrictions, Certification, and Recommendations. Dordrecht: Springer.
- Data Protection Working Party (2015): Opinion 01/2015 on Privacy and Data Protection Issues relating to the Utilisation of Drones, adopted on 16 June

2015. URL: http://ec.europa.eu/justice/data-protection/article-29/documentation/opinion-recommendation/files/2015/wp231_en.pdf.
- De Cubber, Geert, Haris Balta, Daniela Doroftei, Yves Baudoin (2014): UAS deployment and data processing during the Balkans flooding. In: 2014 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue. 1–4.
- DEKRA (2017): Hohe Verletzungsgefahr durch Drohnen. (04.04.2017) URL: <https://www.dekra-akademie.de/de/04-04-2017-dekra-drohnen-crashtest/> [Stand: 21.09.2017].
- DGAC (2015): RPAS operations in France. From the regulation process to the business. (März 2015). URL: <https://www.icao.int/Meetings/RPAS/RPAS-SymposiumPresentation/Day%20%20Workshop%20%20Operations%20Muriel%20Preux%20and%20Bastien%20Mancini%20-%20RPAS%20operations%20in%20France.pdf> [Stand: 27.09.2017].
- DHL (2016) : DHL Paketkopter 3.0. (09.05.2016) URL: <http://www.dpdhl.com/de/presse/specials/paketkopter.html> [Stand 15.09.2017].
- Ditmer, Mark et al. (2015): Bears Show a Physical but Limited Behavioral Response to Unmanned Aerial Vehicles. In: *Current Biology* 25. 2278–2283.
- Drone Industry Insight (2016): TOP20 Drone Company Ranking Q3. (02.10.2016) URL: <https://www.droneii.com/top20-drone-company-ranking-q3-2016> [Stand: 27.09.2017].
- EASA (2016a): Study and Recommendations regarding Unmanned Aircraft System Geo-Limitations. Issue 2. URL: https://www.easa.europa.eu/system/files/dfu/GTF%20-%20Report_Issue2.pdf [Stand: 19.09.2017].
- Economist (2017): Seeing is believing. *Technology Quarterly: Civilian Drones*. In: *The Economist*, Nr. 423 (9044). 6–8.
- Ellenberg, Ursula, Mattern, Thomas, Seddon, Philip J. (2013): Heart rate responses provide an objective evaluation of human disturbance stimuli in breeding birds. In: *Conserv. Physiol.* 1: doi: 10.1093/conphys/cot013.
- Engberts, Bart, Gillissen, Edo (2016): Policing from Above. Drone Use by the Police. In: Custers, Bart (Hrsg.): *The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives*. Heidelberg, Berlin: Springer. 93–114.
- Eurocontrol (2017): Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) ATM Concept of Operations (CONOPS). URL: <http://www.eurocontrol.int/publications/remotely-piloted-aircraft-systems-rpas-atm-concept-operations-conops>.

- FAA (2017): FAA Aerospace Forecast. Fiscal Years 2017–2037. URL: https://www.faa.gov/data_research/aviation/aerospace_forecasts/media/FY2017-37_FAA_Aerospace_Forecast.pdf [Stand: 08.11.2017].
- Finn, Rachel, Donovan, Anna (2016): Big Data, Drone Data. Privacy and Ethical Impacts of the Intersection Between Big Data and Civil Drone Deployments. In: Custers, Bart (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 47–69.
- Finn, Rachel, Wright, David (2016): Making Drones More Acceptable with Privacy Impact Assessments. In: Custers, Bart (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 325–352.
- Finn, Rachel, Wright, David (2012): Unmanned aircraft systems, Surveillance, ethics and privacy in civil applications. In: Computer Law & Security Review, Nr. 28. 184–194.
- FLARM (2017): FLARM nun auch Marktführer bei Drohnen. (04.08.2017) URL: <http://flarm.com/de/flarm-marktfuehrer-bei-drohnen/> [Stand: 21.09.2017].
- Freeman, P. K., Freeland, R. S. (2014): Politics & technology. U.S. policies restricting unmanned aerial systems in agriculture. In: Food Policy, Nr. 49. 302–311.
- Freigang, Caroline, Burth, Lisa (2016): So will ein Zürcher Startup den Piloten komplett ersetzen. URL: <http://www.handelszeitung.ch/unternehmen/so-will-ein-zuercher-startup-den-piloten-komplett-ersetzen-1293349> [Stand: 12.09.2016].
- Freytag, Urs (2016): Sicherheitsrechtliche Aspekte der Robotik. In: Sicherheit & Recht, Nr. 2. 111–121.
- Gabrieli, Jonas (2017): Erste Bauern lassen Drohnen steigen. (08.03.2017) URL: <https://www.landbote.ch/front/Erste-Bauern-lassen-Drohnen-steigen/story/16081380> [Stand: 15.09.2017].
- Germann, Peter (2016): Modellflug und Drohnenbetrieb. Der Unterschied. In: AeroRevue, Nr. 11.
- Goldberg, David (2015): Regulators Should let «Dronalism» Take Off. In: Media Asia 42 (1-2). 39–40.
- Goldberg, David (2016): Droning on About Journalism: Remotely Piloted Aircraft and Newsgathering. In: Završnik, Aleš (Hrsg.): Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance. Heidelberg: Springer. 217–242.

- Gorkič, Primož (2016): The (F)utility of Privacy Laws: The Case of Drones? In: Završnik, Aleš (Hrsg.): Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance. Heidelberg: Springer. 69–81.
- Greenpeace (2014): Gefahr aus der Luft, Drohnenüberflüge bedrohen französische Atomanlagen. Risikoanalyse am Beispiel der AKW Fessenheim, Cattenom und Gravelines. URL: <https://www.greenpeace.de/presse/publikationen/gefahr-aus-der-luft-drohnenueberfluege-bedrohen-akw> [Stand: 18.09.2017].
- Gusterson, Hugh (2014): Toward An Anthropology of Drones. Remaking Space, Time, and Valor in Combat. In: Matthew Evangelista, Henry Shue (Hrsg.): The American Way of Bombing: Changing Ethical and Legal Norms, from Flying Fortresses to Drones. Ithaca, London: Cornell UP. 191–206.
- Gusterson, Hugh (2016): Drone. Remote Control Warfare. Cambridge MA, London: The MIT Press.
- Hänsenberger, Silvio, Isabelle Wildhaber (2016a): Regulations on Civilian Drones in the US and Europe, What Do They Involve? URL: <http://robohub.org/regulations-on-civilian-drones-in-the-us-and-europe-what-do-they-involve/> [Stand: 11.07.2017].
- Hänsenberger, Silvio, Isabelle Wildhaber (2016b): Risiko im Anflug? Die Regulierung ziviler Drohnen. In: Sui Generis. 82–88. URL: <http://sui-generis.ch/26> [Stand: 09.11.2017].
- Haller, Ursina (2016): Drohnen sollen mit Chip fliegen. (14.07.2016). URL: <https://www.nzz.ch/schweiz/registrierungspflicht-drohnen-sollen-mit-chip-fliegen-ld.105700> [Stand: 08.03.2017].
- Hambling, David (2016): What really happens when a drone strikes an airplane. (22.12.2016) URL: <http://www.popularmechanics.com/flight/drones/a24467/drone-plane-collision/> [Stand: 21.09.2017].
- Hämmerli, Alex (2017): Verkauf in zwei Jahren versiebenfacht. Boom bei ferngesteuerten Drohnen. (21.04.2017) URL: <https://www.galaxis.ch/de/s5/page/verkauf-in-zwei-jahren-versiebenfacht-boom-bei-fern-gesteuerten-drohnen-4179> [Stand: 21.09.2017].
- Hänsenberger, Silvio (2017): Wenn Drohnen vom Himmel fallen. Luftrechtliche Haftungsfragen. In: Aktuelle Juristische Praxis. 164.
- Henseler, David (im Erscheinen): Die rechtliche Einordnung von Drohnen. Eine kritische Würdigung der heutigen Rechtslage und Überlegungen de lege

- ferenda. In: Canapa, Landolt, Müller (Hrsg.): Sein und Schein der Gesetzgebung. Erwartungen – Auswirkungen – Kritik. Zürich.
- Hermanns, Andre (2013): Anwender-Akzeptanz und Bewertung unbemannter Flugsysteme («Drohnen») im Katastrophenschutz. Theorie, Empirie, regulatorische Implikationen. Berlin: LIT.
- Hodel, Alois (2016): Entwicklung der Landwirtschaft. Grosser Umbruch. In: Blätter für Agrarrecht (BIAR), Nr. 2-3.
- Hodgson, Jarrod C., Baylis, Shane M., Mott, Rowan, Herrod, Ashley, Clarke, Rohan H. (2016): Precision wildlife monitoring using unmanned aerial vehicles. *Nature Scientific Reports* 6, 22574 doi:10.1038/srep22574 URL: <https://www.nature.com/articles/srep22574> [Stand: 21.09.2017].
- Holton, Avery E., Lawson, Sean, Love, Cynthia (2015): Unmanned Aerial Vehicles. Opportunities, barriers, and the future of «drone journalism». In: *Journalism Practice*, Nr. 9 (5). 634–650.
- Hrubesch-Millauer, Stephanie, Bruggisser, David (2014): Sachenrechtliche Aspekte zum Einsatz von privaten Drohnen: In: *Jusletter*, Nr. 11. August 2014.
- Humle, T. et al. (2014): Biology's Drones. Undermined by Fear. In: *Science* 344 (6190). 1355.
- Husi, Sandra (2014): Besondere Voraussetzungen für den Einsatz von Videoüberwachung. In: Rudin, Beat, Baeriswyl, Bruno (Hrsg.): *Praxiskommentar zum Informations- und Datenschutzgesetz des Kantons Basel-Stadt*. Zürich: Schulthess. 177–186.
- Inside-IT (2017): Schweiz: Drohnen für Private ein Renner, im Business selten. (26.05.2017) URL: <http://www.inside-it.ch/articles/47626> [Stand 19.09.2017].
- Jablonowski, Maximilian (2014): Would you mind my drone taking a picture of us? (29.09.2014) URL: <http://photomediationsmachine.net/2014/09/29/would-you-mind-my-drone-taking-a-picture-of-us/> [Stand: 03.11.2017].
- Jablonowski, Maximilian (2015): Drone It Yourself. On the Decentering of «Drone Stories». <http://www.culturemachine.net/index.php/cm/article/view/589/594>. [Stand: 03.11.2017].
- Jablonowski, Maximilian (2017a): Dronie Citizenship. In: Adi Kuntsman (Hrsg.): *Selfie Citizenship*. Basingstroke: Palgrave Macmillan. 97–106.
- Jablonowski, Maximilian (2017b): Dronies. Zur vertikalen Ästhetik des Selbst. In: Ute Holfelder, Klaus Schönberger (Hrsg.): *Bewegtbilder und Alltagskultur(en): 16-mm-, Super-8-, Video-, Handyfilm*. Praktiken von Amateuren im

- Prozess der gesellschaftlichen Ästhetisierung. Köln: Herbert von Halem. 231–242.
- Jablonowski, Maximilian (2017c): Ferngesteuertes Feeling. Zur technogenen Sensualität unbemannten Fliegens. In: Karl Braun et al. (Hrsg.): Kulturen der Sinne. Zugänge zur Sensualität der sozialen Welt. Würzburg: Königshausen & Neumann. 385–391.
- Jackman, A. H. (2016): Rhetorics of possibility and inevitability in commercial drone tradespaces. In: *Geographica Helvetica*, Nr. 71. 1–6.
- Jensen, Ole B. (2016): Drone city – power, design and aerial mobility in the age of «smart cities». In: *Geographica Helvetica*, Nr. 71. 67–75.
- Jones, G., Pearlstine, L., Percival, H. (2006): An assessment of small unmanned aerial vehicles for wildlife research. In: *Wildl Soc Bull* 34, 750–758.
- Jumbert, Maria Gabrielsen, Kristin Bergtora Sandvik (2016a) (Hrsg.): *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 1–25.
- Karlsrud, John, Frederik Rosén (2013): In the eye of the beholder? UN and the use of drones to protect civilians. In: *Stability of Security and Development* 2. 1–10.
- Karlsrud, John, Frederik Rosén (2016): Lifting the fog of war? Opportunities and challenges of drones in UN peace keeping operations. In: Maria Gabrielsen Jumbert, Kristin Bergtora Sandvik (Hrsg.) *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 45–64.
- Kaufmann, Mareile (2016): Drone/body: The drone's power to sense and construct emergencies. In: Maria Gabrielsen Jumbert, Kristin Bergtora Sandvik (Hrsg.): *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 168–194.
- Kennedy, Caroline, James I. Rogers (2015): Virtuous drones? In: *The International Journal of Human Rights* 19. 211–227.
- Ketan, Joshi (2017): Four charts that show the future of battery storage. (21.08.2017) URL: <https://arena.gov.au/blog/arenas-role-commercialising-big-batteries/> [Stand: 20.09.2017].
- Kettiger, Daniel (2016). Das gerichtliche Verbot als Instrument zur Abwehr ziviler Drohnen. In: *Jusletter* Nr. 11. April 2016.
- Klauser, Francisco, Silvana Pedrozo (2015a): Power and space in the drone age. A literature review and politico-geographical research agenda. In: *Geographica Helvetica*, Nr. 70. 285–193.
- Klauser, Francisco, Silvana Pedrozo (2015b): Mit den Drohnen steigt das Misstrauen. In: *Zentralschweiz am Sonntag*, 24. 14.06.2015. 3.

- Klauser, Francisco, Silvana Pedrozo (2016): Mit den Drohnen steigt der Ärger. In: Zentralschweiz am Sonntag, 14. 03.04.2016. 6.
- Klauser, Francisco, Silvana Pedrozo (2017): Big Data from the Sky: Popular Perceptions of Private Drones in Switzerland. In: *Geographica Helvetica*, Nr. 72. 231–239.
- Koh, Lian Pin, Serge Wich (2012): Dawn of Drone Ecology: Low-cost Autonomous Aerial Vehicles for Conservation. In: *Tropical Conservation Science* 5(2). 121–132.
- Komenda-Zehnder, S. Bruderer, B. (2002): Einfluss des Flugverkehrs auf die Avifauna – Literaturstudie. Schriftenreihe Umwelt Nr. 344. Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft.
- Kornmeier, Claudia (2012): Der Einsatz von Drohnen zur Bildaufnahme: eine luftverkehrsrechtliche und datenschutzrechtliche Betrachtung. Berlin: LIT.
- Lidén, Kristoffer, Kristin Bergtora Sandvik (2016): Poison pill or cure-all? Drones and the protection of civilians. In: Maria Gabrielsen Jumbert, Kristin Bergtora Sandvik (Hrsg.): *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 65–88.
- Lieberherr, Iwan (2017): Drohnen. Augen am Himmel. (04.02.2017) URL: <https://www.srf.ch/sendungen/trend/drohnen-auge-am-himmel> [Stand: 19.09.2017].
- Love, Cynthia, Lawson Sean T., Holton Avery E. (2014): News from Above. First Amendment Implications of the Federal Aviation Administration Ban on Commercial Drones. In: *Mercatus Working Paper*. Arlington, VA: George Mason University.
- Lubbadeh, Jens (2016): Volle Ladung. (24.02.2016) URL: <https://www.heise.de/tr/artikel/Volle-Ladung-3114009.html> [Stand: 20.09.2017].
- Marin, Luisa (2016): The Humanitarian Drone and the Borders. Unveiling the Rationales Underlying the Deployment of Drones in Border Surveillance. In: Custers, Bart (Hrsg.): *The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives*. Heidelberg, Berlin: Springer. 115–132.
- Marin, Luisa, Kamila Krajčiková (2016): Deploying Drones in Policing Southern European Borders: Constraints and Challenges for Data Protection and Human Rights. In: Završnik, Aleš (Hrsg.): *Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance*. Heidelberg: Springer. 101–127.

- Markwalder, Nora, Simmler, Monika (2017): Roboterstrafrecht. In: Aktuelle Juristische Praxis. 171–181.
- Martini, Tomas et al. (2016): The Humanitarian Use of Drones as an Emerging Technology for Emerging Needs. In: Custers, B. (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 133–152.
- McCosker, Anthony (2015a): Drone Media. Unruly Systems, Radical Empiricism and Camera Consciousness. (Datum) URL: <http://www.culturemachine.net/index.php/cm/article/view/591/598> [Stand: 09.11.2017].
- McCosker, Anthony (2015b): Drone Vision, Zones of Protest and the New Camera Consciousness. In: Media Fields Journal, Nr. 9. 1–14.
- McKenna, Alan (2016): The Public Acceptance Challenge and Its Implications for the Developing Civil Drone Industry. In: Custers, Bart (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 353–370.
- Meili, Andreas (2015): Freiheit zwischen Gucklöchern und Scheinwerfern. Eine Standortbestimmung zum Persönlichkeitsschutz im digitalen Zeitalter. In: NZZ (Zürich), 177 04.08.2015, 46.
- Mendes de Leon, Pablo, Benjamyn Ian Scott (2016): An Analysis of Unmanned Aerial Systems Under Air Law. In: Završnik, Aleš (Hrsg.): Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance. Heidelberg: Springer. 185–213.
- Merlin, Peter (2015): NASA. Industry Complete Third Phase of UAS Flight Testing. (16.09.2015) URL: https://www.nasa.gov/centers/armstrong/features/detect_and_avoid.html [Stand: 21.09.2017].
- Meteomatics (2015): Meteomatics erhält als erste Schweizer Firma die BVLOS-Bewilligung für Mini UAVs. (16.03.2015) URL: <http://meteomatics.com/pages/viewpage.action?pagelId=4817056> [Stand: 13.09.2017].
- Michaelides-Mateou, Sofia (2016): Terrorism and National Security. In: Custers, Bart (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 153–171.
- Miethe, Terance et al. (2014): Public Attitudes about Aerial Drone Activities. Results of a National Survey. UNLV Center for Crime and Justice Policy. Research in Brief July 2014. URL: http://www.unlv.edu/sites/default/files/page_files/27/CCJP-PublicAttitudesAboutAerialDrones-2014.pdf [Stand: 09.11.2017].

- Milivojevic, Sanja (2016): Re-bordering the Peripheral Global North and Global South. Game of Drones, Immobilising Mobile Bodies and Decentring Perspectives on Drones in Border Policing. In: Završnik, Aleš (Hrsg.): Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance. Heidelberg: Springer. 83–100.
- Monmouth University Poll (2012): US Public Supports Some Domestic Drones Use. URL: https://www.monmouth.edu/polling-institute/reports/Monmouth-Poll_US_061212/ [Stand: 09.11.2017].
- Monmouth University Poll (2013): National: U.S. Supports Unarmed Domestic Drones. URL: https://www.monmouth.edu/polling-institute/reports/MonmouthPoll_NJ_081513/ [Stand: 09.11.2017].
- Morris, John (2017): China's Ehang to Launch Commercial Fly-by-iPad. (25.07.2017) URL: <http://aviationweek.com/oshkosh-2017/china-s-ehang-launch-commercial-fly-ipad> [Stand: 15.09.2017].
- Muggli, Rudolf (2015): Öffentliches Immissionsschutzrecht. Ein Update. In: Stöckli, Hubert (Hrsg.). Schweizerische Baurechtstagung 2015 ... für alle, die bauen. 163–177.
- Mulero-Pázmány, M., Jenni-Eiermann, S., Strebel, N., Sattler, T., Negro, J. J., Tablado, Z. (2017): Unmanned aircraft systems as a new source of disturbance for wildlife: A systematic review. PLoS ONE, 12(6): e0178448. doi:10.1371/journal.pone.0178448.
- Müller, Mark W., D'Andrea, Raffaello (2014): Stability and Control of a quad-roboter despite the complete loss of one, two or three propellers. URL: <http://flyingmachinearena.org/wp-content/publications/2014/muel-EEE14.pdf> [Stand: 21.09.2017].
- Myers Morrison, Caren (2015): Dr. Panopticon, or, How I Learned to Stop Worrying and Love the Drone. In: Journal of Civil Rights & Economic Development, Nr. 27 (4). 747–764.
- Ntalakas, Andreas et al. (2017): Drone Journalism. Generating Immersive Experiences. In: Journal of Media Critiques 3(11). 187–199.
- NZZ (2017): Luftpost in Lugano. (31.03.2017) URL: <https://www.nzz.ch/schweiz/aktuelle-themen/schweizer-post-testet-drohne-neinsatz-luftpost-in-lugano-ld.154444> [Stand: 19.09.2017].
- Parrot (2017a): Preliminary results for the fourth quarter of 2016. Reorganisation of consumer drone operations. (09.01.2017) URL: <https://corporate.parrot.com/en/pressrelease/preliminaryresultsforthefourthquarterof2016-reorganizationofconsumerdroneoperations> [Stand: 27.09.2017].

- Parrot (2017b): Investor presentation Q4/FY 2017. (March 2017) URL: <https://corporate.parrot.com/en/financialpublications/q42016presentation> [Stand: 27.09.2017].
- PWC (2016): Clarity from above. PwC global report on the commercial applications of drone technology. (May 2016) URL: <https://www.pwc.pl/pl/pdf/clarity-from-above-pwc.pdf> [Stand: 27.09.2017].
- Rassler, D., al-Ubaydi, M., Mironova, V. (2017): The Islamic States Drone Documents. Management, Acquisitions, and DIY Tradecraft', CTC Perspectives. (31.01.2017): URL: <https://www.ctc.usma.edu/posts/ctc-perspectives-the-islamic-states-drone-documents-management-acquisitions-and-diy-trade-craft> [Stand: 07.02.2017].
- Ravich, Timothy (2016): A Comparative Global Analysis of Drone Laws. Best Practices and Policies. In: Custers B. (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 301–324.
- Remote Control Project (2016): Hostile Drones: The Hostile Use of Drones by Non-State Actors Against British Targets. URL: <http://remotecontrolproject.org/publications/hostile-drones-the-hostile-use-of-drones-by-non-state-actors-against-british-targets/> [Stand: 18.09.2017].
- Remote Vision (2016): SVZD See and Avoid mit FLARM. (07.07.2016) URL: <https://www.youtube.com/watch?v=pXlbra6P8zc> [Stand: 21.09.2017].
- Riklin, F. (2015): Waffen und Drogen vom Himmel. (30.05.2015) URL: <https://www.schweizamwochenende.ch/nachrichten/waffen-und-drogen-vom-himmel-131062068> [Stand: 18.09.2017].
- Rosén, Frederik (2014): Extremely stealthy and incredibly close: Drones, control and responsibility. In: Journal of Conflict Studies and Security Law 19. 113–131.
- Rosén, Frederik, John Karlsrud (2014): The MONUSCO UAVs. The implications for actions and omissions. In: Conflict Trends 4. 42–48.
- Rosenthal, David (2015): Entwicklungen im privaten Datenschutzrecht (April 2013 bis März 2015), In: Aktuelle Anwaltspraxis, 569–587.
- Rothstein, Adam (2015): Drone. New York: Bloomsbury.
- Roundtree, Cheyenne (2017): Dancing in the Dark! 300 Drones helped Lady Gaga create American flag in the night sky in pre-recorded segment during incredible Super Bowl halftime show. (07.02.2017) URL: <http://www.dailymail.co.uk/news/article-4194678/Intel-powered-300-drones-Super-Bowl-halftime.html> [Stand: 15.09.2017].

- RUAG (2016): OPATS. The Laser-based Automatic Landing System for UAVs. (09.2016) URL: <https://ruag.picturepark.com/Go/D4xnmJf/V/7623/1> [Stand: 12.09.2017].
- RUAG (2017): Annual Report 2016. Ruag again reports profitable growth and successfully positions itself in digital markets of the future. (27.04.2017) URL: https://annualreport.ruag.com/sites/ar16/files/media_document/2017-03/RUAG_Aviation_Divisionsbericht_EN.pdf [Stand: 09.09.2017].
- Saff, C., Mennle, E. (2011): Structural Design Criteria / Qualification Guidelines for Unmanned Military Air Vehicles. Linking UAV Categories to Risk and Safety. Vortrag an der ASIP-Konferenz vom 29.11.2011 in San Antonio, Texas, USA.
- Salter, Michael (2013): Toys for the Boys? Drones, Pleasure and Popular Culture in the Militarisation of Policing. In: *Critical Criminology*, Nr. 22. 163–177.
- Sandvik, Kristin Bergtora, Lohne, Kjersti (2014): The Rise of the Humanitarian Drone. Giving Content to an Emerging Concept. In: *Millenium – Journal of International Studies*, Nr. 43. 145–164.
- Sandvik, Kristin Bergtora (2016a): The public order drone: Proliferation and disorder in civil airspace. In: Dies., Jumbert, Maria Gabrielsen (Hrsg.): *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 109–128.
- Sandvik, Kristin Bergtora (2016b): The Political and Moral Economies of Dual Technology Transfers. Arming Police Drones. In: Aleš Završnik (Hrsg.) *Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance*. Heidelberg: Springer. 45–66.
- Sandvik, Kristin Bergtora, Kjersti Lohne (2013): The promise and perils of «disaster drones». In: *Humanitarian Exchange* 58. 28–30.
- Sandvik, Kristin Bergtora, Maria Gabrielsen Jumbert (2015): Les drones humanitaires. In: *Revue Internationale et Stratégique* 98. 139–146.
- SBB (2017): Wie die Drohne zum Schutz der Bahn beiträgt. (08.09.2017) URL: <https://dima.sbb.ch/unterwegs/artikel/63299/wie-die-drohne-zum-schutz-der-bahn-beitraegt> [Stand: 15.09.2017].
- Schefer, Krista Nadakavukaren (2014): Ein völkerrechtlicher Schutz der kollektiven Privatsphäre? Der Schutz der Privatsphäre und die Anonymität im Zeitalter kommerzieller Drohnen. In: *Zeitschrift für Schweizerische Recht*, Bd. 133 (3). 259–288.
- Schiffman, Richard (2014): Drones Flying High as New Tool for Field Biologists. In: *Science* Nr. 344 (6183). 459.

- Schmidli, J., Rensch C. (2017): Grenz-Drohnen fliegen nur unter der Woche. (20.07.2017) URL: <https://www.srf.ch/news/schweiz/grenz-drohnen-fliegen-nur-unter-der-woche> [Stand: 18.09.2017].
- Schmidt, Henrike (2015): From a Bird's Eye Perspective. Aerial Drone Photography and Political Protest. A Case Study of the Bulgarian #resign Movement 2013. In: Digital Icons: Studies in Russian, Eurasian and Central European New Media 13, 1–27.
- Scott, Benjamyn (2016): Key Provision in Current Aviation Law. In: Custers, Bart (Hrsg.): The Future of Drone Use. Opportunities and Threats from Ethical and Legal Perspectives. Heidelberg, Berlin: Springer. 241–260.
- SenseFly (2017): senseFly receives first Swiss approval for anytime BVLOS operations. (02.09.2017) URL: <https://www.sensefly.com/nc/news-single/article/sensefly-receives-first-swiss-approval-for-anytime-bvlos-operations.html> [Stand: 12.09.2017].
- SESAR Joint Undertaking (2016): European Drones Outlook Study. (November 2016). URL: https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf [Stand: 23.11.2016].
- SESAR Joint Undertaking (2017): U-space Blueprint (05.07.2017, Mara Dame EASA Köln) URL: <https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/U-space%20Blueprint.pdf> [Stand: 20.09.2017].
- SHAB (2014): Handelsregister. (03.08.2014) URL: <https://www.shab.ch/shab-forms/servlet/Search?EID=7&DOCID=1659987> [Stand: 10.09.2017].
- Skyguide (2017): Skyguide VFR-Guide 008/2017. URL: <https://www.skybrie-fing.com/portal/de/vfr-guide>.
- SLF (2017): Mittels Drohnen die Schneehöhe erfassen. URL: http://www.slf.ch/ueber/organisation/warnung_praevention/projekte/drohnen/index_DE [Stand: 15.09.2017].
- Stadt Zürich (2015): Infoblatt. Einsatz von Luftfahrzeugen besonderer Kategorien (Mini-Drohnen oder Multicopter) in der Stadt Zürich. URL: <https://www.stadt-zuerich.ch/content/dam/stzh/pd/Deutsch/Stadtpolizei/Formulare%20und%20Merkblaetter/Ueber%20uns/Infoblatt%20Mini-Drohnen%20und%20Multicopter.pdf>.
- Stampfli, C. (2015): Militärübung. Unbemannte Drohne raubt Bewohnern den Schlaf. (19.05.2015) URL: <https://www.badenertagblatt.ch/aargau/baden/militaeruebung-unbemannte-drohne-raubt-bewohnern-den-schlaf-129568881> [Stand: 18.09.2017].

- Steiger, Martin (2014): Regulierung von Drohnen im zivilen Behördeneinsatz in der Schweiz. In: *Sicherheit & Recht*, Nr. 3. 169–182.
- Suasnews (2017): NCDOT Reminds Drone Hobbyists. No Drones in Disaster Zones. (11.09.2017) URL: <https://www.suasnews.com/2017/09/ncdot-reminds-drone-hobbyists-no-drones-in-disaster-zones/> [Stand: 15.09.2017].
- Swiss Foundation for Mine Action (FSD): Drones in Humanitarian Action. A guide to the use of airborne systems in humanitarian cri-ses. (14.02.2017) URL: <http://drones.fsd.ch/wp-content/uploads/2016/11/Drones-in-Humanitarian-Action.pdf> [Stand: 17.02.2017].
- Tagesanzeiger (2017): Eine Jobgarantie kann die Post nicht geben. (25.06.2017) URL: <https://www.tagesanzeiger.ch/sonntagszeitung/Eine-Jobgarantie-kann-die-Post-nicht-geben/story/19394367> [Stand: 21.09.2017].
- Tagesanzeiger (2015): Drohne zeigt das Grauen in HD-Qualität. (15.10.2015) URL: <https://www.tagesanzeiger.ch/ausland/drohnen-zeigen-den-krieg-im-stil-eines-werbefilms/story/30717673> [Stand: 15.09.2017].
- Thompson, Scott, Ciara Bracken-Roche (2015): Understanding public opinion of UAVs in Canada. A 2014 analysis of survey data and its policy implications. In: *Journal of Unmanned Vehicle Systems* 3. 156–175.
- Tiefenthal, Jürg M., Fischer, Ronny (2014): Rechtliche Zulässigkeit gemeinsamer Polizeikontrollen von Militärischer Sicherheit und Kantonspolizeien. In: *Sicherheit & Recht*, Nr. 2. 114.
- Tremayne, Mark, Clark, Andrew (2014): New Perspectives from the Sky. Unmanned aerial vehicles and journalism. In: *Digital Journalism*, Nr. 2 (2). 232–246.
- Volovelsky, Uri (2014): Civilian uses of unmanned aerial vehicles and the threat to the right to privacy. An Israeli case study. In: *Computer Law & Security Review*, Nr. 30. 306–320.
- Waghorn, Neil J. (2016): Watching the watchmen. Resisting drones and the protester panopticon. In: *Geographica Helvetica*, Nr. 71. 99–108.
- Warwick, Graham (2017a): Electric Potential. Are battery technologies advancing fast enough to enable eVTOL? In: *AviationWeek & Space Technology* (New York NY, USA) August 14 – September 3, 2017. 38–41.
- Warwick, Graham (2017b): Urban Myth or Market? In: *AviationWeek* (New York NY, USA) August 14 – September 3, 2017. 36–37.
- Weber, Rolf H. (2016): Zivile Drohneneinsätze. Herausforderungen für das Wirtschafts- und Datenschutzrecht. In: Widmer, Alfred (Hrsg.). *Der rasante*

- technologische Wandel. Überforderung der Gesellschaft? Broker-Tagung 2016, 1–13.
- Weber, Rolf H., Oertly, Dominic (2015): Datenschutzrechtliche Problemfelder von zivilen Drohneneinsätzen. In: Jusletter 26. Oktober 2015.
- Weston, M. A., McLeod, E. M., Blumstein, D. T., Guay, J.-P. (2012): A review of flight-initiation distances and their application to managing disturbance to Australian birds. In: *Emu*, 112, 269–286.
- Wich, Serge Scott, Lorna, Pin Koh, Lian (2016): Wings for wildlife: The use of conservation drones. challenges and opportunities. In: Sandvik, K.B., Gabrielsen Jumbert, M. (Hrsg.): *The Good Drone*. London, New York: Routledge. 153–167.
- Wick, Hanna (2013): Drohnen. Schweiz testet neue Anti-Crash-Technik. (06.09.2013) URL: <https://www.srf.ch/wissen/technik/drohnen-schweiz-testet-neue-anti-crash-technik> [Stand: 21.09.2017].
- Wietlisbach, O. (2014): Ein Berner schiesst mit einer Drohne Fotos des AKW Mühlebach. Nie im Leben hätte er gedacht, was er damit auslöst. (15.05.2014) URL: <http://www.watson.ch/Digital/Schweiz/753534009-Ein-Berner-schiesst-mit-einer-Drohne-Fotos-des-AKW-M%C3%BChleberg--Nie-im-Leben-h%C3%A4tte-er-gedacht--was-er-damit-ausl%C3%B6st> [Stand: 18.09.2017].
- Williams, Johanna (2017): Dedrone sichert Weltwirtschaftsforum in Davos gegen Drohnen. (23.01.2017) URL: <https://www.dedrone.com/de/news-room/presse-detail/dedrone-sichert-weltwirtschaftsforum-in-davos-gegen-drohnen> [Stand: 18.09.2017].
- Wingtra (2017): Wingtra verkündet Vertriebspartnerschaften in China und USA. (22.08.2017) URL: <https://wingtra.com/wp-content/uploads/2017/08/Wingtra-201708-Pressemitteilung-Deutsch.pdf> [Stand: 12.09.2017].
- Wright, David (2014): Drones. Regulatory challenges to an incipient industry. In: *Computer Law & Security Review*, Nr. 30. 226–229.
- Završnik, Aleš (2016a) (Hrsg.): *Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance*. Heidelberg: Springer.
- Završnik, Aleš (2016b): Drones, Resistance and Countersurveillance. In: Ders. (Hrsg.): *Drones and Unmanned Aerial Systems. Legal and Social Implications for Security and Surveillance*. Heidelberg: Springer. 243–266.

Zeitschrift für Europarecht (2014): Verkehrsrecht. Rechtsrahmen für den zivilen Einsatz von Drohnen, 90–91.

Verzeichnis der (relevantesten) Rechtsquellen

Nationale Rechtsquellen (nach der systematischen Rechtsammlung [SR] geordnet)

Bundesverfassung der Schweizerischen Eidgenossenschaft vom 18. April 1999 (BV; SR 101)

Bundesgesetz über den Nachrichtendienst vom 25. September 2015 (Nachrichtendienstgesetz, NDG; SR 121)

Schweizerisches Zivilgesetzbuch vom 10. Dezember 1907 (ZGB; SR 210)

Bundesgesetz über den Datenschutz vom 19. Juni 1992 (DSG; SR 235.1)

Bundesgesetz über den Natur- und Heimatschutz vom 1. Juli 1966 (NHG; SR 451)

Verordnung über den Natur- und Heimatschutz vom 16. Januar 1991 (NHV; SR 451.1)

Bundesgesetz über die Armee und die Militärverwaltung (Militärgesetz, MG; SR 510.10)

Bundesgesetz über die militärischen Informationssysteme vom 3. Oktober 2008 (MIG; SR 510.91)

Bundesgesetz über Waffen, Waffenzubehör und Munition vom 20. Juni 1997 (Waffengesetz, WG; SR 514.54)

Verordnung über Waffen, Waffenzubehör und Munition vom 2. Juli 2008 (Waffenverordnung, WV; SR 514.541)

Verordnung über den Einsatz von Bildaufnahme-, Bildaufzeichnungs- und anderen Überwachungsgeräten durch die Eidgenössische Zollverwaltung vom 4. April 2007 (SR 631.053)

Strassenverkehrsgesetz vom 19. Dezember 1958 (SVG; SR 741.01)

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

Verordnung über die Luftfahrt vom 14. November 1973 (Luftfahrtverordnung, LFV; SR 748.01)

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

Fernmeldegesetz vom 30. April 1997 (FMG; SR 784.10)

Verordnung über Fernmeldeanlagen vom 25. November 2015 (FAV; SR 784.101.2)

Bundesgesetz über den Umweltschutz vom 7. Oktober 1983 (Umweltschutzgesetz, USG; SR 814.01)

Lärmschutz-Verordnung vom 15. Dezember 1986 (SR 814.41)

Bundesgesetz über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel vom 20. Juni 2017 (Jagdgesetz, JSG; SR 922.0)

Verordnung über die Jagd und den Schutz wildlebender Säugetiere und Vögel vom 29. Februar 1988 (Jagdverordnung, JSV; SR 922.01)

Verordnung über die eidgenössischen Jagdbanngebiete vom 1991 (VEJ; SR 922.31)

Verordnung über die Wasser- und Zugvogelreservate von internationaler und nationaler Bedeutung vom 21. Januar 1991 (WZVV; SR 922.32)

BAFU/BAZL (2016), Ausbringen aus der Luft von Pflanzenschutzmitteln, Biozidprodukten und Düngern – Vollzugshilfen für Vollzugsbehörden und Anwender.

Schweizerische Staatsverträge

Konvention zum Schutze der Menschenrechte und Grundfreiheiten vom 4. November 1950 (in der Schweiz in Kraft seit dem 28. November 1974 (EMRK; SR 0.101)

Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Gemeinschaft über den Luftverkehr vom 21. Juni 1999 («Luftverkehrsabkommen»; SR 0.748.127.192.68)

Internationale Rechtsquellen (chronologisch geordnet)

Richtlinie 95/46/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. Oktober 1995 zum Schutz natürlicher Personen bei der Verarbeitung personenbezogener Daten und zum freien Datenverkehr

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG

ICAO (2011): CIR 328, Unmanned Aircraft Systems (UAS)

Richtlinie 2011/65/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 8. Juni 2011 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten

Richtlinie 2012/19/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 4. Juli 2012 über Elektro- und Elektronik-Altgeräte

Richtlinie 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. April 2014 über die Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die Bereitstellung von Funkanlagen auf dem Markt und zur Aufhebung der Richtlinie 1999/5/EG

ICAO (2015): Proposals for the amendment of Annexes 1, 2 and PANS-TRG (Doc 9868) related to remotely piloted systems (RPAS). 03.05.2017. 1–8.

EASA (2015): Vorschlag für die Erstellung von gemeinsamen Vorschriften für den Betrieb von Drohnen in Europa

EASA (2016b): «Prototype» Commission Regulation on Unmanned Aircraft Operations

Mitglieder der Begleitgruppe

Dr. Bruno Baeriswyl, TA-SWISS Leitungsausschuss, Datenschutzbeauftragter des Kantons Zürich

Dr. Felix Altorfer, Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat ENSI (Vertreter der Kommission für Technologie und Innovation KTI)

Bruno Arnold, AGRIDEA (Schweizerische Vereinigung für die Entwicklung der Landwirtschaft und des ländlichen Raums)

Siddhartha Arora, IBM Switzerland

Reto Büttner, Schweizer Verband Ziviler Drohnen (SVZD)

Laurent Delétraz, skyguide – swiss air navigation services ltd

Markus Farner, Bundesamt für Zivilluftfahrt (BAZL)

Dr. Olivier Glassey, TA-SWISS Leitungsausschuss, Faculté des sciences sociales et politiques (SSP), Université de Lausanne

Dr. Rolf Hügli, Schweizerische Akademie der Technischen Wissenschaften SATW

Dr. Quentin Ladetto, armasuisse Wissenschaft und Technologie

Arthur Leibundgut, Bundesamt für Kommunikation (BAKOM)

Andrea Marrazzo, Schweizerische Post

Yves Michel, Office fédéral de la Communication (OFCOM)

Werner Müller, BirdLife Schweiz (Schweizer Vogelschutz SVS)

Dr. Alice Reichmuth Pfammatter, Datenschutzexpertin und Rechtsanwältin

Mitglieder der Projektgruppe

Prof. Dr. Michel Guillaume, Leiter Zentrum für Aviatik,
Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

PD Dr. Markus Christen, Geschäftsleiter UZH Digital Society Initiative,
Universität Zürich

Dr. Kurt Moll, Rechtsanwalt, Bern

Dr.-Ing. Peter M. Lenhart, Zentrum für Aviatik, Zürcher Hochschule
für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)

Maximilian Jablonowski, M.A., Institut für Sozialanthropologie
und Empirische Kulturwissenschaft, Universität Zürich

Projektmanagement

Dr. Sergio Bellucci, Leiter TA-SWISS

Dr. Catherine Pugin, Projektverantwortliche

Liebe Leserin, lieber Leser

Wir freuen uns, dass Sie unsere Open-Access-Publikation heruntergeladen haben. Der vdf Hochschulverlag fördert Open Access aktiv und publiziert seit 2008 Gratis-eBooks in verschiedenen Fachbereichen:

[Übersicht Open-Access-Titel](#)

Möchten auch Sie Open Access publizieren?

Der vdf Hochschulverlag stellt Ihre Publikation u.a. im eigenen Webshop sowie der ETH-Research-Collection zum Download bereit!

Kontaktieren Sie uns unter verlag@vdf.ethz.ch

Gerne informieren wir Sie auch in Zukunft über unsere (Open-Access-)Publikationen in Ihrem Fachbereich.

[Newsletter abonnieren](#)

Auch Sie können Open Access unterstützen.

[Hier geht's zum Spenden-Button](#)

Herzlichen Dank!



Lange kamen Drohnen hauptsächlich bei mehr oder weniger geheimen militärischen Missionen in Konfliktgebieten zum Einsatz, ferngesteuert von Soldaten in einem sicheren Bunker. Heute kommt es nicht selten vor, dass man beim Blick in den Himmel auch über Strassen und öffentlichen Plätzen zivile Drohnen entdeckt – sie sind zum Preis von wenigen Hundert Franken inzwischen für jedermann erhältlich. Doch nicht nur in der Freizeit sind Drohnen mittlerweile im Einsatz, sondern auch auf Baustellen, in der Landwirtschaft, bei der Videoüberwachung, für Vermessungs- und Forschungszwecke sowie in der Medienberichterstattung.

In einem ersten Teil fasst diese Studie das Wissen zu den begrifflichen, technischen und wirtschaftlichen Aspekten der Drohnentechnologie zusammen. Es folgen eine Einschätzung zu den zukünftigen Entwicklungen sowie eine Analyse der Rezeption in der internationalen Fachliteratur und in den Medien der Deutsch- und Westschweiz. Der zweite Teil präsentiert die gegenwärtige Gesetzeslage in der Schweiz sowie im Ausland. Schliesslich erfolgt eine strategische Beurteilung der Drohnentechnologie, die sich auf die Befragung von rund 60 Technologieexpertinnen und -experten sowie weiteren Stakeholdern stützt. Zu Wort kommen dabei insbesondere auch kritisch eingestellte Akteure wie Umweltschutzorganisationen. Schliesslich folgen, nach absteigender Priorität aufgelistet, sieben Handlungsempfehlungen für die Politik.