



Teilautonome Multikopter zugunsten der Einsatzzentrale bei Raubüberfällen

Möglichkeiten und Herausforderungen von Drohnen als poli-
zeiliches Einsatzmittel

Betreuung: Prof. Dr. Gerhard Schwabe
Studienrichtung: MSc Data Science
Autor: David Wyss
14-734-453
Sonneggstrasse 19, 8006 Zürich
078 670 88 47
david.wyss@uzh.ch
Deadline: 24. Dezember 2021

Inhaltsverzeichnis

1 Abstract	7
2 Einführung	8
3 Forschungsziele, Hypothesen und Vorgehensweise	10
3.1 Forschungsziele	10
3.2 Hypothesen	10
3.3 Vorgehensweise	11
4 State of the Art	13
4.1 Einführung	13
4.2 Technik	14
4.3 Anwendungsgebiete	23
4.4 Rechtslage	25
5 Interviews	30
5.1 Einführung	30
5.2 Vorgehen	30
5.3 Resultate	32
6 Testszenarien	35
6.1 Übersicht	35
6.2 Technische Ausrüstung	35
6.3 Versuchspersonen und Demografie	37
6.4 Vorgehen zur Auswertung	41
7 Phase I - Technische Versuche	43
7.1 Ziele	43
7.2 Örtlichkeit und Sicherheitsvorkehrungen	43
7.3 Versuche	44
7.4 Zwischenresultate und Schlussfolgerungen	57
8 Phase II – Interaktions- und Komparativszenarien	58
8.1 Ziele	58
8.2 Örtlichkeit und Sicherheitsvorkehrungen	58
8.3 Versuche	59
9 Phase III - Gesamtszenarien	78

9.1 Ziele	78
9.2 Örtlichkeit und Sicherheitsvorkehrungen	78
9.3 Versuchsaufbau und -ablauf	80
9.4 Iterationen	82
9.5 Resultate	84
10 Diskussion und Schlussfolgerungen	91
10.1 Einsatzszenario – unter welchen Bedingungen liefern Drohnen Mehrwert?	91
10.2 Wahrnehmung von Autorität – wie wird eine Drohne zur Polizeidrohne?	92
10.3 Technische Aspekte – wie muss eine Polizeidrohne aufgebaut sein?	93
11 Zukünftige Forschungsbereiche	99
11.1 Einführung	99
11.2 Technische und polizeiliche Fragestellungen	99
11.3 Gesellschaftliche und juristische Fragestellungen	101
12 Abschluss	103
13 Danksagungen	105
14 Literaturverzeichnis	106
15 Anhang	Fehler! Textmarke nicht definiert.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Publikationen pro Jahr seit 1990 in Scopus (Quelle: Scopus, 2021)	13
Abbildung 2: Aibotix Aibot X6 (Quelle: Leica Geosystems, 2016)	15
Abbildung 3: DJI Mavic 2 Enterprise Dual (Quelle: DJI, 2021a)	16
Abbildung 4: FLIR Black Hornet 3 PRS (Quelle: FLIR, 2018)	16
Abbildung 5: Flugzeiten DJI Matrice 300 RTK (Quelle: DJI, 2020a)	18
Abbildung 6: Flugdistanz, -zeit und -geschwindigkeit DJI Phantom 3 Professional (Quelle: Brunner, 2017)	19
Abbildung 7: Arace ROC VTOL-Drohne (Quelle: Arace UAS, 2021)	20
Abbildung 8: Autonomie-Spektrum (Quelle: Clough, 2002)	22
Abbildung 9: Klassifizierung nach EU-Drohnenrecht 2021 (Quelle: Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021c)	27
Abbildung 10: Kategorisierung nach EU-Drohnenrecht 2021 (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021c)	28
Abbildung 11: Skizzen zum Drohneneinsatz	31
Abbildung 12: Gruppierte Aspekte aus Textcodierung	33
Abbildung 13: Altersverteilung der Probanden	38
Abbildung 14: Wohnortsverteilung der Probanden	39
Abbildung 15: Bildungsstufenverteilung der Probanden	39
Abbildung 16: Berufssituationsverteilung der Probanden	40
Abbildung 17: Gelände MFH Wydäckerring	44
Abbildung 18: Illustration LOS-Distanz, angepasst von Li, Sun, & Li (2020)	48
Abbildung 19: Aufnahme Flug 2	50
Abbildung 20: Aufnahme Flug 3	50
Abbildung 21: Aufnahme Flug 5	51
Abbildung 22: Aufnahme Flug 5, kein Zoom	51
Abbildung 23: Übersichtsplan Ausbildungszentrum Riedikon (Quelle: Ausbildungszentrum Riedikon, 2014)	59
Abbildung 24: Antwortverteilung " <i>Die Drohne hat gefährlich auf mich gewirkt.</i> "	61
Abbildung 25: Antwortverteilung " <i>Die Geräusche der Drohne haben mich gestört.</i> "	62
Abbildung 26: Distanzschätzungen	63
Abbildung 27: Antwortverteilung Distanz-Präferenz	64
Abbildung 28: Antwortverteilung " <i>Die Drohne hat bedrohlich gewirkt.</i> "	67
Abbildung 29: Antwortverteilung " <i>Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt.</i> "	68
Abbildung 30: Antwortverteilung " <i>Hat die Drohne freundlich auf Sie gewirkt?</i> "	68

Abbildung 31: Häufigste Begriffe zur Frage "Wie haben Sie sich durch die Anwesenheit der Drohne gefühlt?"	69
Abbildung 32: Antwortverteilung "Ich erkenne, wozu die Drohne dient."	73
Abbildung 33: Antwortverteilung "Die Drohne wirkt professionell."	73
Abbildung 34: Antwortverteilung "Fänden Sie es gut, wenn die Polizei diese Drohne einsetzt?"	74
Abbildung 35: Antwortverteilung "Die Drohne wirkte beruhigend."	77
Abbildung 36: Antwortverteilung "Hat eine der beiden Varianten Sie gestört?"	77
Abbildung 37: Anflugstrecke Gesamtszenarien	79
Abbildung 38: Versuchsaufbau Gesamtszenarien	80
Abbildung 39: Antwortverteilung "Ich konnte erkennen, was die Funktion der Drohne war."	87
Abbildung 40: Häufigste Begriffe zur Frage "Was hat die Drohne gemacht, was war ihr Ziel?"	88
Abbildung 41: Antwortverteilung "Ich habe mich durch die Drohne sicherer gefühlt."	89
Abbildung 42: Antwortverteilungen "Ich denke ein Mensch hat die Drohne kontrolliert." und "Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt."	89
Abbildung 43: Antwortverteilung "Denken Sie, die Drohne hat dieses Ziel erreicht?"	90

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Technische Daten verschiedener Drohnen	17
Tabelle 2: Verwendete Drohnen des UTD (Bildquellen: Eigene Aufnahme, DJI, 2020a & DJI, 2021b)	37
Tabelle 3: Latenzzeiten Milestone und DJI Mavic 2 Pro	46
Tabelle 4: Bewertung Signalement-Erkennung	49
Tabelle 5: Bewertung manuelle Personenverfolgung	53
Tabelle 6: Bewertung Fahrzeugverfolgung	54
Tabelle 7: Bewertung Sicht- und Hörbarkeit	56
Tabelle 8: Versuche zu Flughöhen und -distanzen	60
Tabelle 9: Versuche zu Gestik	65
Tabelle 10: Flüge zum Erscheinungsbild (Bildquellen: Eigene Aufnahme, DJI, 2020a, DJI, 2021b & remotevision.ch)	71
Tabelle 11: Flüge zur Kommunikation	75
Tabelle 12: Rollenverteilung Gesamtszenarien	81
Tabelle 13: Ablaufschema Gesamtszenarien	82
Tabelle 14: Iterationen Gesamtszenario	84
Tabelle 15: Unmittelbare Feststellungen aus Gesamtszenarien	86
Tabelle 16: Technische Anforderungen für Polizeidrohnen	98

1 Abstract

Im Rahmen dieser Vorstudie wurde untersucht, ob teilautonome Multikopter, auch Drohnen genannt, im Einsatz bei Raubüberfällen einen Mehrwert bieten können. Dazu wurden mittels Interviews polizeiinterne Arbeitsweisen, Vorstellungen und Vorwissen zu Drohnen erfasst, und im Anschluss der aktuelle Stand der technischen und juristischen Möglichkeiten zum Drohneneinsatz untersucht. Es wurden in drei Phasen Experimente zu allen einsatzrelevanten Aspekten durchgeführt; Ziel war dabei, die technischen Möglichkeiten, die gesellschaftliche Akzeptanz, sowie den Mehrwert von Drohnen als Einsatzmittel in einem Gesamtszenario zu evaluieren.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass zwar die technischen Möglichkeiten zur Autonomie noch relativ gering sind, jedoch ein grösstenteils manueller Einsatz von Drohnen bereits einen signifikanten Mehrwert bieten kann. Es wurde festgestellt, dass grundsätzlich eine gesellschaftliche Akzeptanz für den polizeilichen Drohneneinsatz besteht, sofern dieser einem klaren Ziel dient und eine gute Erkennbarkeit der Drohne als Polizeidrohne gewährleistet ist. Des Weiteren wurden erste technische Kriterien für Polizeidrohnen bestimmt, sowie notwendige zukünftige Forschungsfragen erfasst.

2 Einführung

Die Einsatzmöglichkeiten von Multikoptern, besser bekannt unter dem Begriff Drohnen, haben sich in den letzten Jahren als viel diskutiertes Thema etabliert. Ein Paradebeispiel hierzu stellt die Verwendung von Multikoptern zur Verbrechensbekämpfung und -aufklärung dar. Daraus resultiert eine Vielzahl an Fragestellungen, welche nicht nur technischer, sondern auch rechtlicher, sozialer und gesellschaftlicher Natur sind. Nicht zuletzt stellen Bedenken bezüglich der Privatsphäre von Individuen laut McNeal (2014) eine der Herausforderungen beim polizeilichen Einsatz von Multikoptern dar. Am Beispiel des Einsatzes von Multikoptern bei Raubüberfällen sollen diese Fragestellungen anhand eines konkreten Szenarios untersucht werden.

Im Rahmen einer Voruntersuchung durch die Stadtpolizei Zürich wurde festgestellt, dass bei vergangenen Raubüberfällen durch Einsatz von Multikoptern ein Potenzial zur Verbesserung der Transferzeiten zum Tatort von durchschnittlich über 3 Minuten besteht. In dieser Zeit könnten wertvolle, umfassende und gesicherte Informationen gewonnen werden, welche potenziell zur Verhinderung hoher Schäden sowie der Gefahrenminderung für die beteiligten Personen genutzt werden könnten. Dazu bieten Multikopter die Möglichkeit, zuvor unerreichbare Sichtwinkel auf das Geschehen zu erreichen, und können dabei kostengünstig betrieben werden (Heen, Lieberman, & Mieth, 2018).

Diese Masterarbeit wird im Format eines gesamtheitlichen Proof-of-concept realisiert. Dieser soll die funktionale Machbarkeit einer Lösung aufzeigen, sowie das Verständnis der dadurch adressierten Probleme vertiefen, um erste Wissensbestandteile für die zukünftige Anwendung der Lösung zu entwickeln (Nunamaker, Briggs, Derrick, & Schwabe, 2015). Die Arbeit wird im Rahmen einer Vorstudie in Zusammenarbeit mit der Stadtpolizei Zürich erstellt.

Für Multikopter existiert eine Vielzahl an Begriffen - Drohnen, UAVs, RPAS oder Quadcopter sind nur einige davon. Da der Begriff "Drohnen" sich im öffentlichen und wissenschaftlichen Diskurs stark etabliert hat, wird in dieser Ar-

beit in der Regel «Drohnen» stellvertretend für alle Synonyme verwendet. Während sich die Begriffe *Drohne*, *UAV* und *RPAS* in der Regel nicht auf Multikopter (d.h. Drohnen mit mehreren Rotoren) einschränken, sondern auch Starrflügel- und Senkrechtstarter-Modelle einschliessen, bezieht sich diese Arbeit ausschliesslich auf Multikopter; in Kapitel 4.2 wird allerdings auf allfällige Alternativen ebenfalls Bezug genommen.

3 Forschungsziele, Hypothesen und Vorgehensweise

3.1 Forschungsziele

Durch die gesamtheitliche Betrachtung des Drohneneinsatzes soll diese Arbeit eine Grundlage liefern, auf der weitere Forschungen technischer und sozialer Natur aufgebaut werden können. Ziel dieser Arbeit ist es somit, die technischen, sozialen und rechtlichen Grundlagen zu erforschen, welche für den polizeilichen Einsatz von Multikoptern relevant sind. Dazu soll ausserdem der potenzielle Nutzen, Mehrwert, und allfällige Hindernisse bei der erfolgreichen Integration von Multikoptern in polizeiliche Arbeitsabläufe am Beispielszenario des Raubüberfalls aufgezeigt werden. Im Rahmen dieser praxisnahen Vorstudie soll dadurch evaluiert werden, ob weitere Forschung zu dieser Thematik einen Mehrwert für die Polizeiarbeit darstellen kann, und es sollen bereits erste Feststellungen über wünschenswerte und zu vermeidende Aspekte des Drohneneinsatzes gemacht werden. Ziel ist ausserdem, Forschungsgebiete festzustellen, wo eingehendere Untersuchungen notwendig sind, um für den Realeinsatz relevante Aspekte zu formalisieren.

3.2 Hypothesen

Wie eingangs erwähnt, wurde im Rahmen einer polizeiinternen Voruntersuchung basierend auf Daten vergangener Raubüberfällen festgestellt, dass eine Drohne, welche mit einer Geschwindigkeit von 70 km/h von der jeweils nächstgelegenen Regionalwache in gerader Linie den Tatort anfliegt, im Durchschnitt mehr als drei Minuten vor den ersten Einsatzkräften am Tatort eintreffen könnte. Da Drohnen gesicherte visuelle Informationen liefern können, besteht die Grundannahme, dass durch die schnellere Anwesenheit von Drohnen vor Ort ein polizeitaktischer Mehrwert erreicht werden kann.

Daher werden folgende Hypothesen aufgestellt:

- 1) Durch den Einsatz von teilautonomen Drohnen können schneller Informationen von Tatorten geliefert werden.
- 2) Luftaufnahmen können durch ihren Übersichtscharakter wertvolle, gesicherte visuelle Informationen liefern, die taktische Vorteile mit sich bringen.
- 3) Die Umsetzung ist technisch, sozial, und juristisch möglich, und findet grundsätzlich eine gesellschaftliche Akzeptanz.

Das folgende Kapitel erläutert das Vorgehen, mit dem diese Hypothesen untersucht werden.

3.3 Vorgehensweise

In einem ersten Teil wird der «State of the Art» aller relevanter Aspekte erläutert. Dabei wird Bezug auf die heutigen Möglichkeiten der Technik genommen, insbesondere in Bezug auf autonome und teilautonome Drohnen und deren Fähigkeiten. Ausserdem wird die aktuelle und zukünftige Rechtslage und deren Implikationen für den Betrieb (teil-)autonomer Drohnen erläutert.

Darauf folgt in einem zweiten Teil die Erfassung der polizeiinternen Arbeitsweisen, Vorstellungen und Bedenken zum Drohneneinsatz sowie allfälliges Vorwissen in Form von Interviews, welche teiltranskribiert und codiert werden, um wiederkehrende Thematiken, Ideen und Bedenken zu identifizieren.

Basierend auf den dabei gewonnenen Informationen werden in einem dritten Teil die Planung, Durchführung und Auswertung von Testszenarien, welche das Ziel verfolgen, alle relevanten Aspekte des polizeilichen Drohneneinsatzes zu erproben und dabei allfällige Schwierigkeiten zu identifizieren. Diese Testszenarien finden in drei Phasen statt, um fortlaufend gewonnenes Wissen in weitere Versuchsszenarien einbinden zu können. Es wird dabei zwischen technischen Szenarien, Interaktions-/Komparativszenarien und Gesamtszenarien unterschieden. Dabei wird in einer realen, praxisnahen Umgebung mit polizei-

internen und externen Probanden Wissen gewonnen, welches anschliessend in einem letzten Teil ausgewertet und interpretiert wird.

Bei der Auswertung der in den Testszenarien gewonnenen Informationen liegt der Fokus auf der Beantwortung der in Kapitel 3.2 aufgestellten Hypothesen, sowie der Feststellung, zu welchen Faktoren allenfalls noch Anpassungen, Verbesserungen oder Änderungen notwendig sind. Basierend darauf werden offene Forschungslücken für zukünftige Untersuchungen festgestellt, um sich dem Ziel des Realeinsatzes anzunähern, sowie erste Schlussfolgerungen gezogen, unter welchen Bedingungen ein solcher polizeilicher Einsatz von teilautonomen Drohnen umsetzbar und zielführend sein könnte.

4 State of the Art

4.1 Einführung

Dieses Kapitel dient dazu, den aktuellen Stand der Technik um teilautonome Drohnen, deren Anwendungsgebiete, sowie die dazugehörige Rechtslage darzulegen. Dabei liegt der Fokus darauf, aufzuzeigen, wie die derzeitige Ausgangslage für das in dieser Arbeit behandelte Anwendungsszenario ist.

Drohnen als neue Technologie haben in den letzten Jahren einen enormen Zuwachs erlebt. Dies zeigt sich bereits in der Anzahl an wissenschaftlichen Publikationen zu diesem Bereich, welche sich insbesondere seit ca. 2011 enorm erhöht hat. Die folgende Abbildung illustriert den Zuwachs in der Anzahl der in wissenschaftlichen Journals veröffentlichten Publikationen, die in Titel, Abstract oder Schlüsselwörtern den Begriff «Drones» oder eines der gängigsten Synonyme («UAV», «RPAS», «*copters» (z.B. «Multicopters», «Quadcopters»)) enthalten. Es zeigt sich dabei ein starkes Wachstum, dessen Ende nicht abzusehen ist.

Documents by year

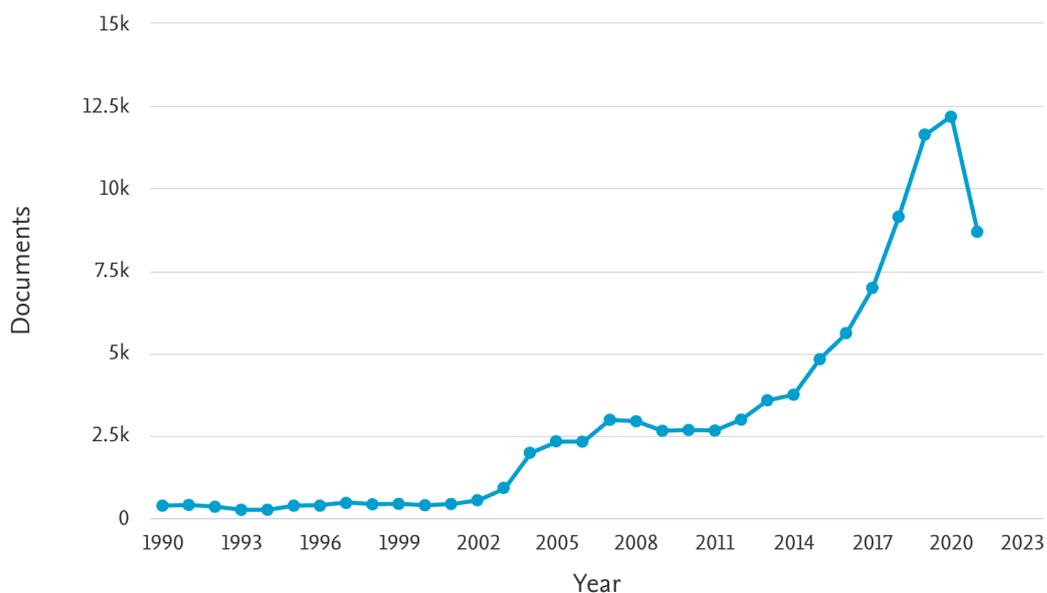


Abbildung 1: Publikationen pro Jahr seit 1990 in Scopus (Quelle: Scopus, 2021)

4.2 Technik

4.2.1 Einführung

Aus technischer Perspektive stellen Drohnen eine Technologie dar, deren Effizienz durch das Zusammenspiel einer Vielzahl von anderen Technologien bestimmt wird. Zu diesen gehören unter anderem (Hussein et al., 2020):

- 1) *Flugsteuerung* (Intelligentes Missions-Management)
- 2) *Flugnavigation* (Planung, Hinderniserkennung, Fail-safes)
- 3) *Positionierung* (Geofencing, Innenraum-Positionierung, Georeferencing)
- 4) *System- und Umgebungsstatus* (Intelligente Selbstüberwachung)
- 5) *Koordination* (Kooperation zwischen Drohnen)
- 6) *Kommunikation* (inner- und ausserhalb des Sichtbereichs)

Deren stetige Weiterentwicklung hat in den letzten Jahren zu einer massiven Erweiterung der möglichen Anwendungsgebiete von teilautonomen Drohnen geführt. Dies führt dazu, dass Drohnen kleiner, günstiger, autonomer und nutzerfreundlicher denn je geworden sind. Durch die breitere Zugänglichkeit und die stark angestiegene Verfügbarkeit von Drohnen haben diese eine enorme Proliferation erreicht; sowohl bei Privatpersonen als auch bei industriellen Anwendungsgebieten kommen sie heute öfter denn je zum Einsatz.

Die zuvor aufgezeigten sowie weitere Faktoren beeinflussen die Effizienz, Zuverlässigkeit und Einsatzmöglichkeiten von Drohnen. Die folgenden Kapitel zeigen zu einigen der relevantesten technischen Faktoren jeweils den aktuellen Stand der Technik, sowie die technische Entwicklung in vergangenen Jahren.

4.2.2 Grösse und Miniaturisierung

Das Konzept eines unbemannten Fluggeräts hat seinen Ursprung im militärischen Bereich; dementsprechend glichen erste «Drohnen» eher militärischen Flugzeugen als den kleinen Multikoptern, mit denen der Begriff heute assoziiert wird. Auch als sich Multikopter allmählich zu etablieren begannen, waren diese

in der Regel um ein Vielfaches grösser als die heute eingesetzten Geräte. Durch stetige Weiterentwicklung aller relevanten Technologien konnten seither signifikante Grössensparnisse erzielt werden, ohne die Funktionalität der Drohnen einzuschränken.

Ein Beispiel dazu ist eine der ersten kommerziell einsetzbaren Drohnen, das Modell Aibot X6 der Firma Aibotix/Leica Geosystems (Leica Geosystems, 2016). Dieses Modell erschien erstmals im Jahr 2011 und war auch bei der Stadtpolizei Zürich zu Vermessungszwecken im Einsatz. Bei einem maximalen Abfluggewicht von 6.6kg und Seitenmassen von 1.05m ist dieses Gerät signifikant grösser als heute gängige Drohnen.



Abbildung 2: Aibotix Aibot X6 (Quelle: Leica Geosystems, 2016)

Drohnen für den industriellen Einsatz sind seither tendenziell physisch deutlich kleiner geworden; beispielsweise das weit verbreitete Modell Mavic 2 Enterprise Dual des chinesischen Herstellers DJI bietet weit mehr Funktionalität in einem deutlich kleineren, leichteren und nutzerfreundlichen Format.



Abbildung 3: DJI Mavic 2 Enterprise Dual (Quelle: DJI, 2021a)

Im Extremfall bieten heutige Drohnen wie die FLIR Black Hornet 3 (FLIR, 2018) einen hohen Grad an Funktionalität in einem nochmals um ein Vielfaches kleineren Format; bei einem Gewicht von nur 33 Gramm stellt dieses Modell eine der kleinsten kommerziellen Drohnen dar. Durch ihren helikopterähnlichen Aufbau mit nur einem Hauptrotor fällt diese Drohne allerdings nicht unter den Begriff «Multikopter», der mehrere Rotoren erfordert.



Abbildung 4: FLIR Black Hornet 3 PRS (Quelle: FLIR, 2018)

Die folgende Tabelle illustriert anhand der wichtigsten technischen Daten der zuvor aufgezeigten Beispiele, wie stark die Miniaturisierung relevanter Technologien die Möglichkeiten von Drohnen geprägt hat.

Modell	Jahr	Gewicht	Grösse	Flugzeit	Geschwindigkeit
Aibotix Aibot X6	2011	4.6-6.6kg	105 x 105cm	20-30min	40km/h
DJI Mavic 2 Enterprise Dual	2018	899g	32 x 24cm	31min	70km/h
FLIR Black Hornet 3	2018	33g	17 x 5cm	25min	21km/h

Tabelle 1: Technische Daten verschiedener Drohnen

4.2.3 Batterie-Technologie und Flugzeit

Ein zentraler Aspekt der Drohnen-Technologie ist die dabei eingesetzte Batterie-Technologie. In heutigen Drohnen kommen üblicherweise Lithium-Polymer-Akkus (Li-Po) zum Einsatz (Dutczak, 2018), welche eine relativ hohe Effizienz, Energiedichte und Leistung ermöglichen. Die Batterie stellt in der Regel einen signifikanten Anteil des Gesamtgewichts einer Drohne dar; am Beispiel der DJI Mavic 2 Enterprise entfällt ein Drittel des Gesamtgewichts von ~900g auf den Flugakku.

Als tragender Faktor zur Flugzeit einer Drohne hat die Batterie eine äusserst zentrale Rolle inne. Dabei gibt es ausserhalb der reinen Kapazität auch weitere Faktoren und Funktionalitäten, die sich in den letzten Jahren stärker etabliert haben, wie beispielsweise:

- 1) Breites Betriebstemperaturspektrum und Heizfunktion
- 2) Temperatur- und Entladungs-Monitoring
- 3) "Smarte" Batterien mit automatischer Entladung auf Lagerspannung bei Nichtgebrauch
- 4) Zyklen- und Zellüberwachung

Diese sind in der Regel sicherheitsfördernd und bieten Möglichkeiten, die noch vor wenigen Jahren kaum vorhanden waren (z.B. Einsatz bei Extremtemperatu-

ren). Besonders im Sektor kleinerer Drohnen hat sich die Akkulaufzeit beträchtlich weiterentwickelt: Während das damalige Flaggschiff des führenden Herstellers DJI aus dem Jahr 2013 (DJI Phantom 1) erst eine Flugzeit von ~10 Minuten aufweist, erreichen heutige DJI-Modelle für den Privatgebrauch Flugzeiten von bis zu ~34 Minuten. Diese Verbesserungen sind allerdings nicht ausschliesslich auf neue Batterie-Technologien zurückzuführen, sondern ebenso auf weitere effizienzfördernde Faktoren wie effizientere Motoren und Motorenregler. Aktuell erreichen Drohnen im Verbrauchersektor üblicherweise Flugzeiten von 20-35 Minuten, während im Profisektor Flugzeiten von bis ca. einer Stunde möglich sind.

Ein entscheidender Faktor ist dabei die Zuladung an Kameras und weiterer Ausrüstung; das Hinzufügen schwerer Kameras führt zu teils stark verkürzten Flugzeiten. Die folgende Abbildung zeigt die Auswirkung des Gewichts der Zuladung auf die maximale Flugzeit am Beispiel des Modells DJI Matrice 300 RTK.

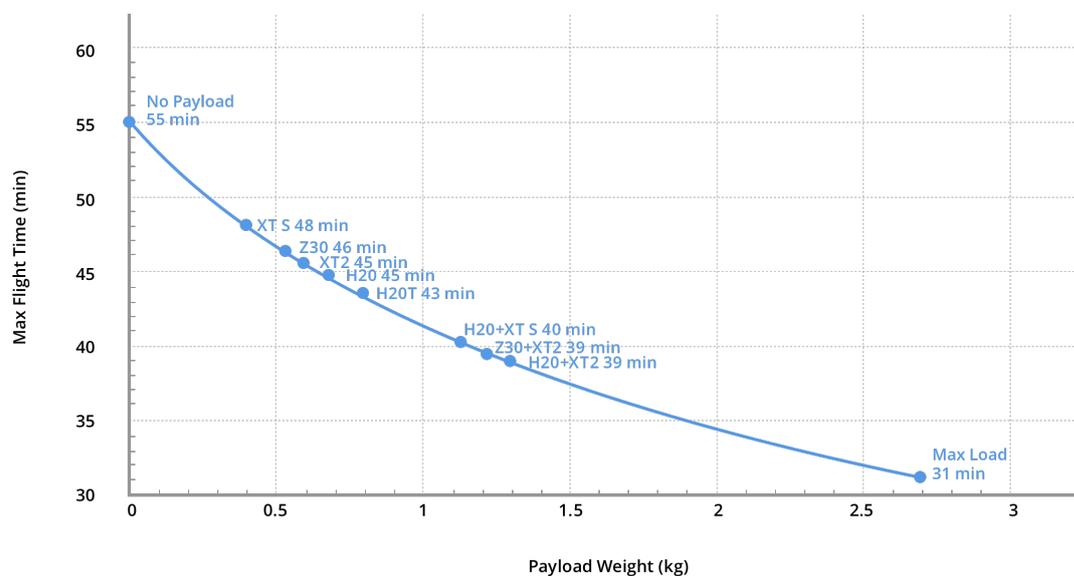


Abbildung 5: Flugzeiten DJI Matrice 300 RTK (Quelle: DJI, 2020a)

Ebenfalls eine Rolle spielt die Fluggeschwindigkeit; höhere Fluggeschwindigkeiten tragen in der Regel einen signifikant erhöhten Stromverbrauch mit sich, was dazu führt, dass bei hoher Fluggeschwindigkeit insgesamt weniger hohe

Distanzen zurückgelegt werden können. Die folgende Abbildung illustriert am Beispiel des Modells DJI Phantom 3 Professional den Zusammenhang zwischen Fluggeschwindigkeit, Flugzeit und dabei zurückgelegter Distanz.

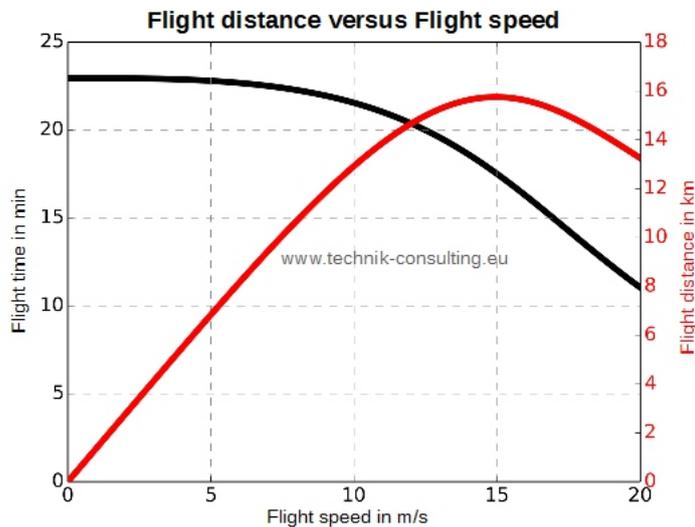


Abbildung 6: Flugdistanz, -zeit und -geschwindigkeit DJI Phantom 3 Professional (Quelle: Brunner, 2017)

Dabei zeigt sich, dass der Bereich der maximalen Effizienz im Flug bei ca. 75% der maximal möglichen Geschwindigkeit liegt. Dieser Wert ist insbesondere dann relevant, wenn längere Flugstrecken zurückgelegt werden müssen, und variiert zwischen unterschiedlichen Drohnen. Generell lässt sich jedoch bei praktisch jeder Form von Flugobjekt feststellen, dass durch erhöhten Luftwiderstand bedingt die Effizienz im Bereich der Höchstgeschwindigkeit nicht optimal ist (Brunner, 2017); somit wäre es für längere Einsätze zielführend, Drohnen unterhalb ihrer Höchstgeschwindigkeit zu bewegen.

4.2.4 Alternative Bauformen

Wie im vorhergehenden Kapitel aufgezeigt, stellt die Flugzeit und -effizienz eine der grössten technischen Herausforderungen des Drohneneinsatzes dar. Während Verbesserungen in den relevanten Batterietechnologien in den letzten Jahren bereits zu signifikanten Fortschritten geführt haben, haben diverse Hersteller zur Verbesserung der maximalen Flugzeit auf alternative Bauformen von

Drohnen zurückgegriffen. Die populärste Variante stellt dabei sicherlich die sogenannte VTOL-Bauform dar (*Vertical Takeoff and Landing*). Solche Fluggeräte kombinieren typischerweise die hohe Effizienz konventioneller Starrflügel-Flugzeuge mit der Flexibilität von Multikoptern; dies ermöglicht analog zu Multikoptern Starts und Landungen auf kleinem Raum, während die Drohne im Einsatz wie ein Flugzeug geflogen wird. Dadurch sind deutlich längere Flugzeiten möglich; Beispielsweise wirbt die Firma Arace UAS mit Flugzeiten von bis zu 4 Stunden für ihre VTOL-Drohnen, was für konventionelle Multikopter bis dato unerreichbar ist.



Abbildung 7: Arace ROC VTOL-Drohne (Quelle: Arace UAS, 2021)

Da im Rahmen dieser Vorstudie der Fokus jedoch auf der Untersuchung von Multikoptern liegt, werden Drohnen alternativer Bauform nicht weiter untersucht. Für zukünftige Forschungen könnten sie allerdings durchaus relevant sein, und werden daher in Kapitel 11 nochmals thematisiert.

4.2.5 Autonomie und Sensorik

Der Aspekt der Autonomie einer Drohne hängt in erster Linie von zwei technischen Aspekten ab: Den vorhandenen Sensoren, die zum autonomen Flug genutzt werden können (z.B. Ultraschall, 3D-Kameras, etc. (Hussein et al., 2020)) und der Software, die davon effektiv Gebrauch macht. Nur durch ausreichende Ausprägung beider Aspekte kann ein effektiver, hoher Grad an Autonomie er-

zielt werden. Um sich autonom in ihrer Umgebung bewegen zu können, muss eine Drohne über ein hohes Mass an gesicherten Informationen über ihre dreidimensionale Umgebung verfügen, und diese angemessen interpretieren. Dabei hängen die autonomen Bewegungsmöglichkeiten (z.B. Fluggeschwindigkeit) oft direkt mit Genauigkeit und Möglichkeiten der vorhandene Sensoren zusammen. Beispielsweise die maximale sichere Fluggeschwindigkeit einer autonomen Drohne wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt:

- Reichweite der Kollisionssensoren
- Mögliche Abbremsstärke
- Allfällige Verzögerung durch Datenverarbeitung in Flugsteuerungs-Software
- Wind
- Weitere externe Faktoren

Je höher die Anzahl an unbekanntem Faktoren, desto höher ist somit auch die notwendige Sicherheitsmarge beim Drohneneinsatz; darauf gestützt sollte über das gesamte Spektrum möglicher Flugbedingungen ein sicherer Betrieb gewährleistet werden können.

Die Autonomie einer Drohne versteht sich nicht als binäre Klassifikation von nicht-autonomen und autonomen Drohnen, sondern bewegt sich auf einem Spektrum, das durch die folgenden vier Faktoren bestimmt wird (Clough, 2002):

1) *Wahrnehmung und Situationsbewusstsein:*

Die Anzahl von vorhandenen Sensoren und deren Zusammenspiel, um die Umgebung als Ganzes zu verstehen.

2) *Analyse und Koordination:*

Fähigkeit zu Reporting und Analyse basierend auf Sensordaten ("Habe ich ein Problem?", "Wie weit reicht das Problem?") und der Grad an Befähigung, diese Probleme selbstständig zu beheben, sowie die Möglichkeit zu analytischen Schätzungen ("Wo ist der Feind?").

3) *Entscheidungsfindung:*

Die Fähigkeit, vordefinierte Flugpläne (low-level) oder Ziele (high-level) zu verfolgen, und die dazu notwendigen Entscheidungen zu treffen.

4) *Fähigkeit:*

Der Grad an Befähigung, diese Ziele ohne externe menschliche Einflussnahme zu verfolgen, und sich innerhalb von Gruppen (teil-)autonomer Fluggeräte zu koordinieren.

Level	Level Descriptor	Observe	Orient	Decide	Act
		Perception/Situational Awareness	Analysis/Coordination	Decision Making	Capability
10	Fully Autonomous	Cognizant of all within Battlespace	Coordinates as necessary	Capable of total independence	Requires little guidance to do job
9	Battlespace Swarm Cognizance	Battlespace inference - Intent of self and others (allies and foes)	Strategic group goals assigned	Distributed tactical group planning	Group accomplishment of strategic goal with no supervisory assistance
		Complex/intense environment - on-board tracking	Enemy strategy inferred	Individual determination of tactical goal Individual task planning/execution Choose tactical targets	
8	Battlespace Cognizance	Proximity inference - Intent of self and others (allies and foes)	Strategic group goals assigned	Coordinated tactical group planning	Group accomplishment of strategic goal with minimal supervisory assistance
		Reduced dependence upon off-board data	Enemy tactics inferred ATR	Individual task planning/execution Choose targets of opportunity	(example: go SCUD hunting)
7	Battlespace Knowledge	Short track awareness - History and predictive battlespace data in limited range, timeframe, and numbers	Tactical group goals assigned Enemy trajectory estimated	Individual task planning/execution to meet goals	Group accomplishment of tactical goal with minimal supervisory assistance
		Limited inference supplemented by off-board data			
6	Real Time Multi-Vehicle Cooperation	Ranged awareness - on-board sensing for long range, supplemented by off-board data	Tactical group goals assigned Enemy location sensed/estimated	Coordinated trajectory planning and execution to meet goals - group optimization	Group accomplishment of tactical goal with minimal supervisory assistance Possible close air space separation (1-100 yds)
5	Real Time Multi-Vehicle Coordination	Sensed awareness - Local sensors to detect others, fused with off-board data	Tactical group plan assigned RT Health Diagnosis; Ability to compensate for most failures and flight conditions; Ability to predict onset of failures (e.g. Prognostic Health Mgmt)	On-board trajectory replanning - optimizes for current and predictive conditions Collision avoidance	Group accomplishment of tactical plan as externally assigned Air collision avoidance Possible close air space separation (1-100 yds) for AAR, formation in non-threat conditions
			Group diagnosis and resource management		
4	Fault/Event Adaptive Vehicle	Deliberate awareness - allies communicate data	Tactical plan assigned Assigned Rules of Engagement RT Health Diagnosis; Ability to compensate for most failures and flight conditions - inner loop changes reflected in outer loop performance	On-board trajectory replanning - event driven Self resource management Deconfliction	Self accomplishment of tactical plan as externally assigned Medium vehicle airspace separation (100's of yds)
3	Robust Response to Real Time Faults/Events	Health/status history & models	Tactical plan assigned RT Health Diag (What is the extent of the problems?) Ability to compensate for most control failures and flight conditions (i.e. adaptive inner-loop control)	Evaluate status vs required mission capabilities Abort/RTB if insufficient	Self accomplishment of tactical plan as externally assigned
2	Changeable Mission	Health/status sensors	RT Health diagnosis (Do I have problems?) Off-board replan (as required)	Execute preprogrammed or uploaded plans in response to mission and health conditions	Self accomplishment of tactical plan as externally assigned
1	Execute Preplanned Mission	Preloaded mission data	Pre/Post Flight BIT Report status	Preprogrammed mission and abort plans	Wide airspace separation requirements (miles)
		Flight Control and Navigation Sensing			
0	Remotely Piloted Vehicle	Flight Control (altitude, rates) sensing	Telemetered data	N/A	Control by remote pilot
		Nose camera	Remote pilot commands		

Abbildung 8: Autonomie-Spektrum (Quelle: Clough, 2002)

Aufgrund dieser Faktoren wird die Autonomie von Drohnen gemäss Clough (2002) in elf Kategorien unterteilt, welche die obenstehende Abbildung aufzeigt. Auf Stufe 0 steht hierbei ein nicht-autonomes, manuell durch einen Piloten gesteuertes Fluggerät, während auf Stufe 10 ein vollständig autonomes, selbstständig agierendes und entscheidendes Fluggerät steht, welches frei von externer Kontrolle funktioniert. Teilautonomie versteht sich hier als alle Stufen von 1

bis 9, und ihre Ausprägung ist durch die zuvor genannten Faktoren bestimmt.

Diese Ausprägung lässt sich am Beispiel der Problemlösung gut aufzeigen:

- *Keine Autonomie:*
Reporting von Flugdaten (z.B. "Flughöhe: 5m")
- *Niedrige Autonomie:*
Feststellen von Status und Problemen basierend auf Flugdaten (z.B. "Flughöhe ist zu tief")
- *Mittlere Autonomie:*
Fähigkeit, angemessen auf die meisten Probleme zu reagieren (z.B. "Flughöhe wird erhöht, da diese zu tief ist")
- *Hohe / vollständige Autonomie:*
Prognose von Problemen und Ergreifen von Präventionsmassnahmen (z.B. Flughöhe automatisch und adaptiv so ansetzen, sodass diese dem Gelände angemessen ist)

Heutige Drohnen können typischerweise auf Stufe 3 der obigen Autonomie-Skala eingeordnet werden; so können diese beispielsweise kontinuierlich berechnen, ob die verbleibende Akkukapazität für den Rückflug zum Ausgangspunkt ausreichend ist, und bei knapper verbleibender Kapazität oder Abbruch der Funkverbindung zum Piloten autonom die Entscheidung zum Rückflug treffen. Ebenfalls können gewisse moderne Drohnensysteme durch adaptives Verhalten und Fehlererkennung sogar Motorausfälle kompensieren (DJI, 2020b)

4.3 Anwendungsgebiete

Parallel zur technischen Weiterentwicklung teilautonomer Drohnen etablieren sich stets neue Anwendungsgebiete, welche die aktuellen technischen Möglichkeiten zu einem hohen Grad ausschöpfen. Der Einsatz von Drohnen beschränkt sich dabei nicht nur auf das Ersetzen menschlicher Arbeitsressourcen (z.B. bei Gebäudeinspektionen), sondern umfasst auch komplett neue Anwendungsgebiete, die erst durch Fortschritte in der Drohnentechnologie ermöglicht werden.

Die folgenden Liste zeigt dazu eine nicht-abschliessende, literaturgestützte Übersicht von Anwendungsgebieten, in denen (teil-)autonome Drohnen bereits heute zum Einsatz kommen (basierend auf Wyss, 2020):

1) *Überwachung:*

Verwendung von Drohnen zur Überwachung von Personen und Infrastruktur. Beispiele: Erstellung von Volkszählungsdaten in Entwicklungsländern (Montanari, Kringberg, Valentini, Mascolo, & Prorok, 2018), Katastrophen-Situationsanalyse (Tatham, Ball, Wu, & Displays, 2017), Infrastruktur-Inspektion mittels Stereokameras (Benkhoui, El Korchi, & Reinhold, 2019).

2) *Transport:*

Transport von Gegenständen bis hin zu Passagieren. Beispiele: Essenslieferdienste (Pinto, Zambetti, Lagorio, & Pirola, 2019), humanitäre Hilfe in Katastrophengebieten (Shavarani, 2019), und Transport von Gütern mit hoher Priorität (Seo, Won, Bertino, Kang, & Choi, 2016).

3) *Personensuche und -rettung:*

Suche und Rettung vermisster Personen durch Einsatz von mit hochwertigen Kameras ausgerüsteten Drohnen, bis hin zu Lieferung von kleineren Gegenständen zu Personen in Notsituationen. Beispiele: Vermissten-suche in der Wildnis durch Drohnenschwärme (Gaynor & Coore, 2014))

4) *Kommunikation:*

Verwendung von Drohnen zum Aufbau von ad-hoc-Kommunikationsnetzwerken durch Transport von Hochleistungs-Kommunikationsausrüstung. Beispiele: Aufbau von Internetkonnektivität in abgelegenen Regionen (Manzoni, Calafate, Cano, & Mota, 2015), Aufbau von Notfall-Kommunikationsnetzwerken nach Naturkatastrophen (Terzi, Kolios, Panayiotou, & Theocharides, 2019).

5) *Notfallreaktion:*

Aufklärungsarbeit für Notfallpersonal und Bereitstellen von Informationen aus der Luft, bis hin zu direkter Notfallunterstützung. Beispiele: Lie-

fern von gesicherten Luftbildern für Notfallpersonal (Khan & Neustaedter, 2019) und Polizei oder Militär (Taralle, Paljic, Manitsaris, Grenier, & Guettier, 2015), Transport und Lieferung von Defibrillatoren via Drohne (Fleck, 2016).

Es zeigt sich hierbei, dass nicht nur die Anwendungsgebiete, sondern auch die dazugehörigen technischen Anforderungen an teilautonome Drohnen stark variieren. Basierend auf den zuvor beschriebenen Anwendungsgebieten lässt sich feststellen, dass der durch Drohnen gebotene Mehrwert sich durchaus nicht nur auf das Generieren von Luftaufnahmen beschränkt, sondern durch kreative Verwendung der technischen Möglichkeiten und unterschiedlicher Zuladungen Drohnen in einer Vielzahl von Anwendungen hilfreich sein können. Zudem spricht die starke Proliferation von Drohnen in Bereichen mit Notfallcharakter (Kommunikation, Personensuche, Naturkatastrophen, etc.) für ein bereits bestehendes, starkes Vertrauen in die verwendeten Technologien sowie deren Zuverlässigkeit.

4.4 Rechtslage

4.4.1 Einführung

Die geltende Rechtslage zum allgemeinen Einsatz von Drohnen und spezifisch zu teilautonomen Drohnen variiert international stark; da der Fokus dieser Arbeit auf dem Einsatz im schweizerischen Luftraum liegt, wird in diesem Kapitel die Rechtslage in der Schweiz als zentral behandelt. Dabei wird aufgezeigt, welche Möglichkeiten zum Einsatz nicht- und teilautonomer Drohnen die aktuelle Gesetzeslage ermöglicht, sowie die geplanten zukünftigen Entwicklungen in der Regulierung des Luftraums und deren Implikationen für den Betrieb von Drohnen beschrieben.

4.4.2 Aktuelle Gesetzgebung

Die Schweiz verfügt aktuell im internationalen Vergleich über eine verhältnismässig unrestrictive Gesetzgebung für die unbemannte Luftfahrt (Klauser & Pedrozo, 2017). Diese ermöglicht den Betrieb von Drohnen unter folgenden Voraussetzungen (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021a):

- Gesamtgewicht von unter 30kg
- Ausserhalb einer Sperrzone (u.a. Naturschutzgebiete, 5km Distanz zu Flughafen)
- Distanz zu Menschenmengen (>24 Personen) von mehr als 100m
- Beim Flug in Kontrollzonen: Maximale Höhe von 150m
- Haftpflichtversicherung in Höhe von mind. 1Mio CHF bei Fluggewicht über 500g
- Permanenter Sichtkontakt zur Drohne oder Flughöhe von <150m und Assistenzperson mit Sichtkontakt

Sollten einer oder mehrere dieser Punkte nicht eingehalten werden können, sind Spezialbewilligungen von BAZL, Skyguide, und/oder Flugplatzleiter notwendig. Da sich das dazugehörige Bewilligungsverfahren jedoch in absehbarer Zeit signifikant verändern wird, wird an dieser Stelle nicht weiter darauf eingegangen; stattdessen erläutert das folgende Kapitel, wie dies unter den geplanten zukünftigen Regulierungen ablaufen soll.

4.4.3 Zukünftige Entwicklung

Die bestehenden gesetzlichen Regelungen zum Drohnenflug in der Schweiz unterscheiden sich seit dem 1. Januar 2021 signifikant von jenen im EU-Raum; zu diesem Zeitpunkt trat innerhalb der gesamten EU ein neues, einheitliches Drohnenrecht in Kraft. Die Schweiz übernimmt im Rahmen der bilateralen Verträge seit 2002 das europäische Luftfahrtrecht vollständig und hätte somit das neue, vereinheitlichte Drohnenrecht ebenfalls übernommen. Gestützt auf eine

Motion, die der Nationalrat im September 2020 gutgeheissen hat, soll in der Schweizer Implementierung der EU-Regelungen der traditionelle Modellflug von den neuen Regelungen ausgenommen werden, um diesen weiterhin zu ermöglichen. Da eine Sonderregelung spezifisch für den Modellflug sich gemäss EU-Kommission nicht mit dem vereinheitlichten Drohnenrecht vereinbaren lässt, befindet sich die Schweiz zurzeit in Verhandlungen mit der EU-Kommission. Bis zur Klärung dieser Rechtsfragen gilt in der Schweiz das bestehende nationale Recht; ein Datum für die Übernahme des vereinheitlichten EU-Rechts steht bisher nicht in Aussicht (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021b).

Inhaltlich sehen die neuen EU-Regulierungen eine erweiterte Klassifizierung von Drohnen sowie eine Schulungs- und Registrierungspflicht für Drohnen mit einem Gewicht von über 250g vor. Eine Änderung, die alle Kategorien von Drohnen betrifft, ist die Restriktion der Flughöhe auf 120m.

Unterkategorie	Gewicht	Fluggebiet	Im Fluggebiet zulässige Drohnenklassen	Registrierungspflicht	Erforderliche Pilotenschulung
A1	< 250 g	<ul style="list-style-type: none"> keine Menschenansammlungen überfliegen Flughöhe max. 120 m 	C0	nein, ausser die Drohne ist mit einer Kamera oder einem Sensor ausgestattet, welcher personenbezogene Daten erfassen kann	<ul style="list-style-type: none"> Studium des vom Hersteller bereitgestellten Betriebshandbuchs keine Schulung erforderlich
	< 900 g	<ul style="list-style-type: none"> keine Menschenansammlungen überfliegen Flughöhe max. 120 m nach vernünftigem Ermessen davon ausgehen, dass keine unbeteiligten Personen überfliegen werden 	C0; C1	ja	<ul style="list-style-type: none"> Studium des vom Hersteller bereitgestellten Betriebshandbuchs Online-Schulung und -Prüfung (40 Multiple-Choice-Fragen)
A2	< 4 kg	<ul style="list-style-type: none"> keine Menschenansammlungen überfliegen Flughöhe max. 120 m horizontaler Abstand von 30 m zu unbeteiligten Personen * Ausnahme: bei tiefer Geschwindigkeit (3 m/s) beträgt der Abstand 5 m 	C2	ja	<ul style="list-style-type: none"> Studium des vom Hersteller bereitgestellten Betriebshandbuchs Fernpiloten-Zeugnis <ul style="list-style-type: none"> Online-Schulung und -Prüfung (40 Multiple-Choice-Fragen) praktisches Selbststudium + Deklaration zusätzliche Theorieprüfung (30 Multiple-Choice-Fragen)
A3	< 25 kg	<ul style="list-style-type: none"> keine Menschenansammlungen überfliegen Flughöhe max. 120 m unbeabsichtigtes Überfliegen von unbeteiligten Personen geduldet horizontaler Abstand von 150 m zu Wohn-, Gewerbe-, Industrie- und Erholungsgebieten 	C2; C3; C4	ja	<ul style="list-style-type: none"> Studium des vom Hersteller bereitgestellten Betriebshandbuchs Online-Schulung und -Prüfung (40 Multiple-Choice-Fragen)

Abbildung 9: Klassifizierung nach EU-Drohnenrecht 2021 (Quelle: Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021c)

Die folgende Abbildung zeigt die vom BAZL vorgeschriebene Kategorisierung von unbemannten Fluggeräten.



Abbildung 10: Kategorisierung nach EU-Drohnenrecht 2021 (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021c)

Der Aspekt der Autonomie ist im Rahmen der neuen EU-Drohnenregulierungen nicht explizit spezifiziert; jedoch definiert das BAZL Drohnenflüge in der Spezialkategorie wie folgt (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021d): «Als «spezielle Drohnenoperationen» werden in der neuen Regulierung alle Drohnenflüge bezeichnet, die bewilligungspflichtig sind oder eine Beteiligung des BAZL erfordern. Alle Drohnenflüge, bei denen eine oder mehrere der Grundsatzregeln nicht eingehalten werden können, gelten grundsätzlich als speziell. [...]» Da permanenter Sichtkontakt zum Fluggerät sowohl unter bestehender als auch unter neuer Regulierung eine der Grundsatzregeln des Drohneneinsatzes ausmacht, ist daher davon auszugehen, dass in Zukunft sämtliche (teil-)autonomen Drohneneinsätze im polizeilichen Rahmen in die Spezialkategorie fallen werden.

Zur Bewilligung von Drohneneinsätzen der speziellen Kategorie stehen gemäss den geplanten neuen Regulierungen drei Verfahren zur Verfügung (Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL, 2021d):

- 1) Standardverfahren (*STS*)
- 2) Pre-defined Risk Assessment (*PDRA*)
- 3) Betriebsgenehmigung nach Specific Operations Risk Assessment (*SORA*)

Das konkret anzuwendende Verfahren hängt dabei von den Charakteristiken der spezifischen Anwendung und den Bedürfnissen des Anwenders ab. Daher

müsste zur Bestimmung, welches Bewilligungsverfahren am passendsten ist, das gesamte Spektrum der geplanten Einsatzmöglichkeiten genau definiert sein. Da es sich bei dieser Arbeit um eine Vorstudie handelt, zu deren Zeitpunkt die genaue Ausprägung eines möglichen Einsatzes noch nicht feststeht, kann an dieser Stelle daher nicht weiter darauf eingegangen werden.

5 Interviews

5.1 Einführung

Um einen objektiven Überblick zur polizeiinternen Ausgangslage, bestehenden Vorstellungen und Ideen zum Drohneneinsatz, sowie dem Fachwissen beteiligter Personen zu erhalten, wurden in einem nächsten Schritt polizeiinterne Interviews durchgeführt. Zu diesem Zweck wurden mit Personen aus unterschiedlichen Tätigkeitsbereichen bei der Stadtpolizei Zürich sowie bei der Kantonspolizei Zürich insgesamt sechs ausführliche Interviews gemäss dem im folgenden Kapitel beschriebenen Vorgehen durchgeführt. Alle Ansprechpersonen wurden seitens der Stadtpolizei vermittelt, um ein abteilungsübergreifendes Bild der Ausgangslage und Wissensstände zu erhalten.

5.2 Vorgehen

Die Teilnehmer der polizeiinternen Interviews wurden zu folgenden Punkten befragt:

- 1) Allgemeiner Wissensstand zu Drohnen und deren Möglichkeiten
- 2) Einschätzungen, wie Drohnen im Szenario eines Raubüberfalls einen Mehrwert bieten könnten
- 3) Meinung zu verschiedenen illustrierten Möglichkeiten zur Erscheinungsform von Polizeidrohnen (siehe Abbildung)

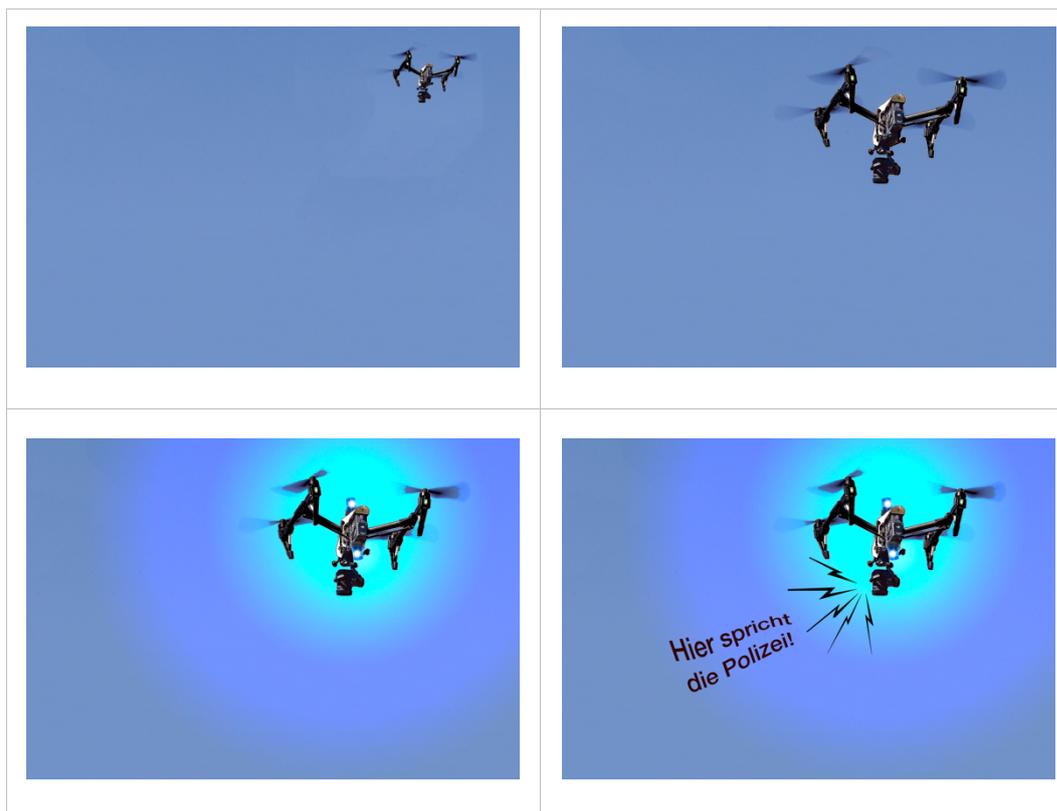


Abbildung 11: Skizzen zum Drohneneinsatz

- 4) Wichtigkeit, dass Polizeidrohnen als solche erkannt und wahrgenommen werden
- 5) Rolle einer Polizeidrohnne: wo auf dem Spektrum von «passiv observierend» bis «aktiv interagierend» soll sich der Drohneneinsatz befinden?
- 6) Möglichkeiten, die Drohnen abgesehen von reinem Observieren bieten könnten
- 7) Generelle Wünsche und Anregungen zum Einsatz von Drohnen
- 8) Integration von Drohnen in bestehende Abläufe
- 9) Risiken und Gefahren bei der Integration neuer Technologien in etablierte, routinierte Prozesse
- 10) Vorstellung, ob Drohnen nach Eintreffen von Einsatzkräften vor Ort noch Mehrwert bieten können
- 11) Aspekte, die in Versuchsszenarien berücksichtigt werden sollten
- 12) Wichtigkeit technischer Faktoren wie Wetterfestigkeit, Geschwindigkeit, etc.

13) Vorstellung vom Grad der Autonomie und dazugehörigen Interaktionsmöglichkeiten

Dabei wurden Sprachaufzeichnungen erstellt, um in Folge eine tiefergehende Analyse der jeweiligen Antworten zu ermöglichen. Diese während den Interviews entstandenen Sprachaufzeichnungen wurden anschliessend intelligent-verbatim teiltranskribiert, um die darauffolgende Analyse zu ermöglichen. Im Zuge dieser wurden die entstandenen Textdokumente codiert, um wiederkehrende Themen, Problematiken, und Fragestellungen zu identifizieren, sowie Zusammenhänge zwischen einsatzrelevanten Aspekten festzustellen.

5.3 Resultate

Die folgende Abbildung zeigt die wiederkehrenden Thematiken, welche durch Codierung der Texte identifiziert wurden. Dabei wurden drei Hauptgruppierungen identifiziert: *Interne Faktoren*, *Externe Faktoren* und *Technische Faktoren*. Unter internen Faktoren verstehen sich Aspekte, welche eine polizeiinterne Relevanz haben, so beispielsweise der Bedarf nach *Ausbildung und Routine*. Externe Faktoren sind all diejenigen, welche die öffentliche Wahrnehmung sowie die Interaktion des Einsatzmittels Drohne mit der Aussenwelt betreffen, so beispielsweise *Überwachung* oder das *Image* der Polizei. Technische Faktoren sind Faktoren, die direkt aus technischen Gegebenheiten folgen oder technische Anforderungen beeinflussen. Beispielsweise der Aspekt der *Sichtbarkeit* impliziert technische Anforderungen an Drohnen im polizeilichen Einsatz.

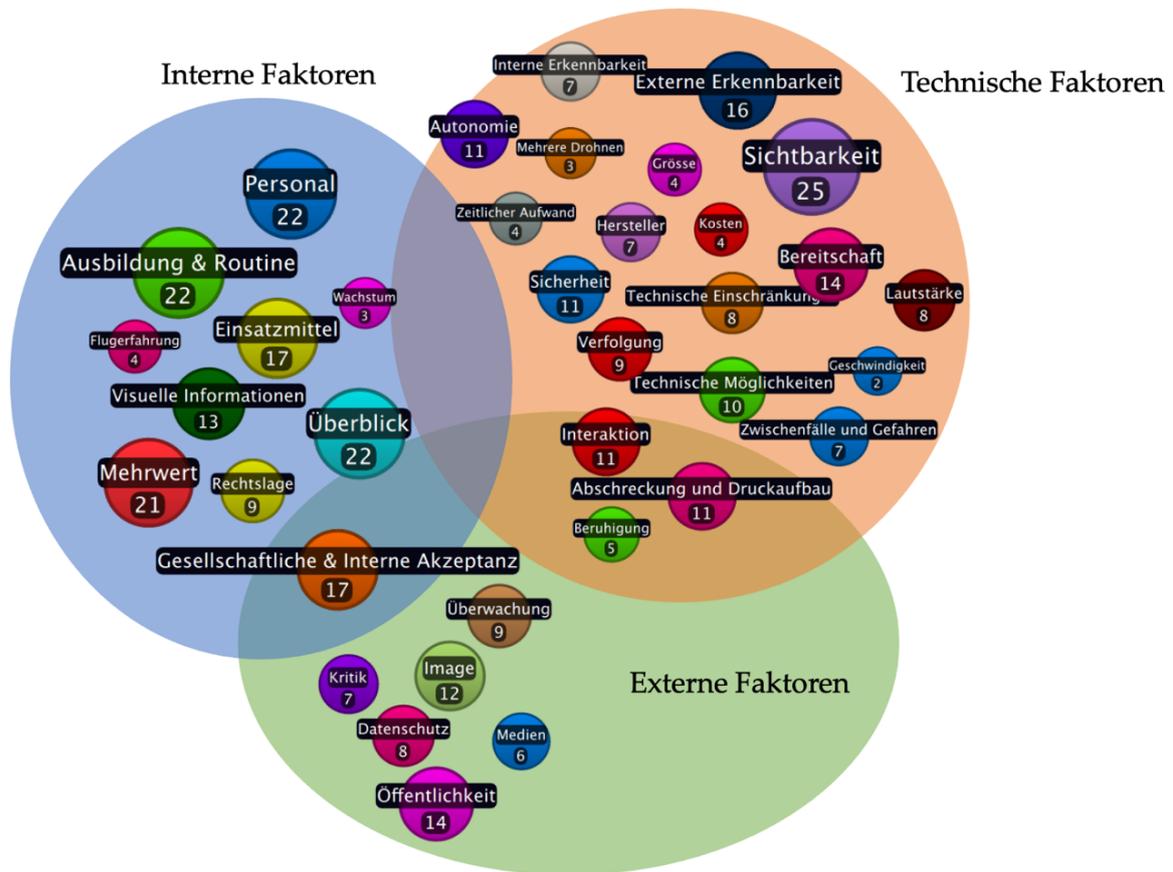


Abbildung 12: Gruppierte Aspekte aus Textcodierung

Die Zahlen zu jedem Aspekt (z.B. 25 zu *Sichtbarkeit*) zeigen jeweils die Anzahl der dazugehörigen Textfragmente, die in den Interviews identifiziert wurden. Von dieser Zahl hängt jeweils auch die Grösse der Darstellung des Aspekts ab. Die obenstehende Abbildung zeigt, dass gewisse Aspekte in mehrere Kategorien fallen können; beispielsweise ist *Interaktion* sowohl ein technischer als auch ein externer Faktor, da Interaktion sowohl technische Anforderungen stellt, als auch auf die Aussenwelt wirkt.

Aus der Analyse dieser codierten Aspekte lassen sich diverse Rückschlüsse über besonders einsatzrelevante Aspekte und deren Zusammenspiel ziehen:

- 1) Der Aspekt der Sichtbarkeit stellt den am stärksten diskutierten Punkt dar. Da ein starker Zusammenhang zwischen Sichtbarkeit und Wahrnehmung einer Drohne zu bestehen scheint, ist dies ein Kernpunkt für den polizeilichen Drohneneinsatz, der je nach technischer Umsetzung starke öffentlichkeitsrelevante Implikationen mit sich trägt.

- 2) Als wichtigster interner Faktor wird der Bedarf nach ausreichender Ausbildung und Routine genannt, jedoch ohne unverhältnismässigen Personalaufwand zu generieren. Generell werden Drohnen als weiteres Einsatzmittel beschrieben, dessen angemessene, effiziente und zielführende Nutzung ein hohes Mass an Fachkompetenz und Ausbildung erfordert.
- 3) Der Mehrwert, den Drohnen im polizeilichen Einsatz bieten könnten, wird primär auf die Verfügbarkeit objektiver, visueller Informationen zurückgeführt. Dabei liegt ebenfalls ein Fokus auf der Verfügbarkeit dieses Bildmaterials bei Frontkräften, um diese objektiven Informationen möglichst breitflächig nutzen zu können.
- 4) Bezüglich Interaktion zwischen dem Einsatzmittel Drohne und Drittpersonen liegt der Fokus klar auf einer abschreckenden Rolle, bei der primär mit der Täterschaft interagiert wird. Die Thematik der Interaktion mit Dritten am Schadenplatz fällt dagegen vergleichsweise wenig ins Gewicht.

6 Testszzenarien

6.1 Übersicht

Im Hauptteil dieser Arbeit wurden eine Reihe von Testszzenarien durchgeführt, mit dem Ziel, sämtliche einsatzrelevanten Aspekte des polizeilichen Drohneinsatzes auf ihre Machbarkeit, Möglichkeiten und gesellschaftliche Akzeptanz zu erproben. Um dabei fortlaufend Erkenntnisse aus bereits durchgeführten Versuchen anwenden zu können, wurden die Versuchsszenarien in drei Phasen gegliedert:

1) *Technische Szenarien:*

Erprobung der Machbarkeit einzelner technischer Aspekte der Gesamtszenarien.

2) *Interaktions- und Komparativszenarien:*

Vergleich und Untersuchung verschiedener wahrnehmungs- und interaktionsrelevanter Aspekte mit internen und externen Probanden.

3) *Gesamtszenarien:*

Erprobung des Gesamtprozesses mit möglichst starker Annäherung an den Realeinsatz mit internen und externen Probanden.

Die Kapitel 7 bis 9 beschreiben zu jeder dieser drei Phasen ihre Ziele, die dazu durchgeführten Versuche, sowie die dabei festgestellten Resultate und deren Implikationen für den weiteren Versuchs- und Projektverlauf.

6.2 Technische Ausrüstung

Da seitens der Stadtpolizei zuhanden des Unfalltechnischen Dienstes (UTD) bereits ein signifikanter Bestand an Drohnen-ausrüstung vorhanden war, wurde beschlossen, sämtliche Testszzenarien mit dieser Ausrüstung sowie den ausgebildeten Drohnenpiloten des UTD durchzuführen.

Die folgende Liste beschreibt die vorhandene technische Ausrüstung, die in den Testszzenarien verwendet wurde. Wo dies relevant ist, ist beim jeweiligen Test-

szenario vermerkt, welches Zubehdr (Kameras, Lautsprecher, etc.) konkret verwendet wurde.

1. *DJI Mavic 2 Pro*
 - a. Polizei-Folierung
2. *DJI Mavic 2 Enterprise Advanced*
 - a. Lautsprecher
3. *DJI Matrice M210 V2*
 - a. DJI Z30 Zoom-Kamera
 - b. DJI XT2 Wdrmebild-Kamera
 - c. FLARM Kollisionswarnsystem
 - d. Lautsprecher
 - e. Fallschirm
 - f. Scheinwerfer

Ausserdem ist seitens der Stadtpolizei ein bestehendes Bildbertragungssystem, «*Milestone*», bereits vorhanden. Dieses wurde wo notwendig ebenfalls verwendet. Die folgende Tabelle zeigt die grundlegenden Informationen zu allen verwendeten Drohnen.

Drohne	Bild	Flugzeit	Gewicht	Grösse
Mavic 2 Pro (Polizei-Muster)		31min	907g	322x242x85mm
Mavic 2 Enterprise Advanced		31min	909g	322x242x101mm
Matrice M210		24-34min	~4.8kg	883x886x427mm

Tabelle 2: Verwendete Drohnen des UTD (Bildquellen: Eigene Aufnahme, DJI, 2020a & DJI, 2021b)

6.3 Versuchspersonen und Demografie

In den Versuchsphasen II und III kamen zusätzlich zu internen Mitarbeitern (seitens Stadtpolizei und Universität) externe Probandinnen und Probanden zum Einsatz. Im weiteren Verlauf dieser Arbeit wird der Einfachheit halber der Begriff «Probanden» für alle Versuchspersonen verwendet. Diese wurden über verschiedene Wege rekrutiert, um eine genügend hohe Anzahl und einen möglichst diversen Pool an Probanden zu gewährleisten.

Es wurde vor Beginn der Versuche durch die Probanden ein demografischer Fragebogen ausgefüllt, der folgende Aspekte erfasst: *Alter, Geschlecht, Wohnort, Bildungsstufe, Berufliche Situation*.

Es wurden insgesamt (Phasen II und III) 80 Probanden rekrutiert, mit einer gleichmässigen Geschlechtsverteilung von 39 (weiblich) zu 41 (männlich). Die folgende Abbildung zeigt die Altersverteilung der Probanden; es lässt sich feststellen, dass eine relativ gleichmässige Verteilung vorliegt, mit Ausnahme der Altersgruppe zwischen 21 und 29 Jahren, welche mit 25 Probanden überproportional vertreten ist.

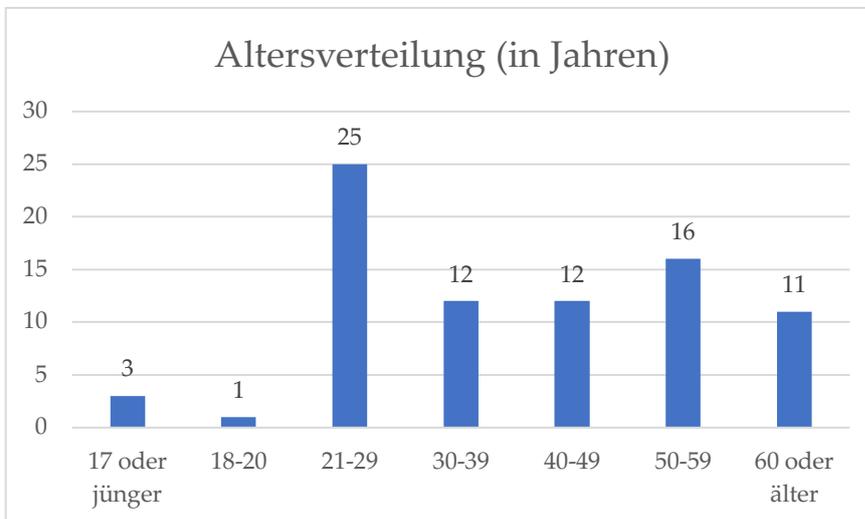


Abbildung 13: Altersverteilung der Probanden

Die folgende Grafik zeigt die Verteilung der Wohnorte der Probanden. Dabei lässt sich feststellen, dass die anteilmässig grösste Gruppe im Stadt- oder Agglomerationsraum wohnt, was eine gute Repräsentativität für den Stadtraum Zürich gewährleisten sollte.

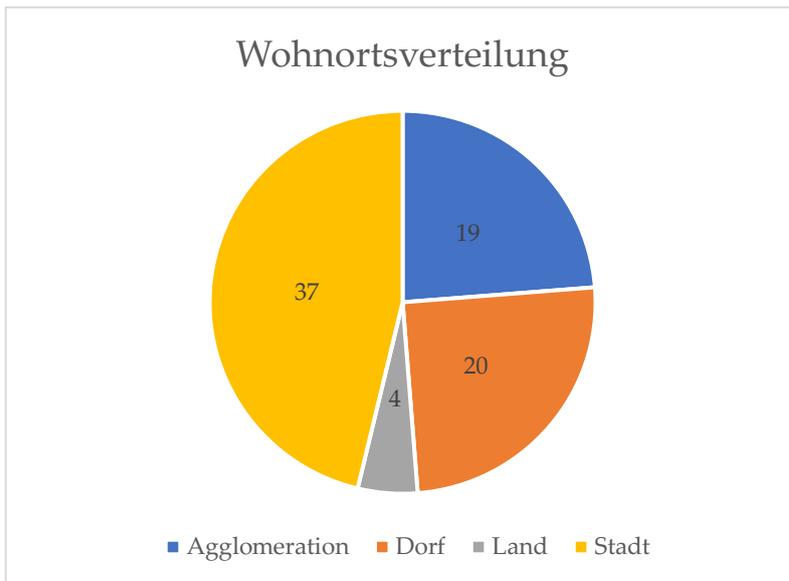


Abbildung 14: Wohnortsverteilung der Probanden

Die Verteilung der Bildungsstufen, welche in der folgenden Abbildung zu sehen ist, zeigt eine gute Durchmischung durch alle Kategorien.



Abbildung 15: Bildungsstufenverteilung der Probanden

Etwas ungleichmässiger zeigt sich die Verteilung der beruflichen Situation der Probanden; Staatsangestellte sind hier mit 32 Probanden überproportional vertreten. Dies könnte darauf zurückzuführen sein, dass unter anderem über die internen Kanäle der Stadt Zürich Probanden rekrutiert wurden. Nichtsdestot-

rotz befinden sich rund 60% der Probanden in nicht-staatlichen Berufssituationen, was einer guten Durchmischung entspricht.

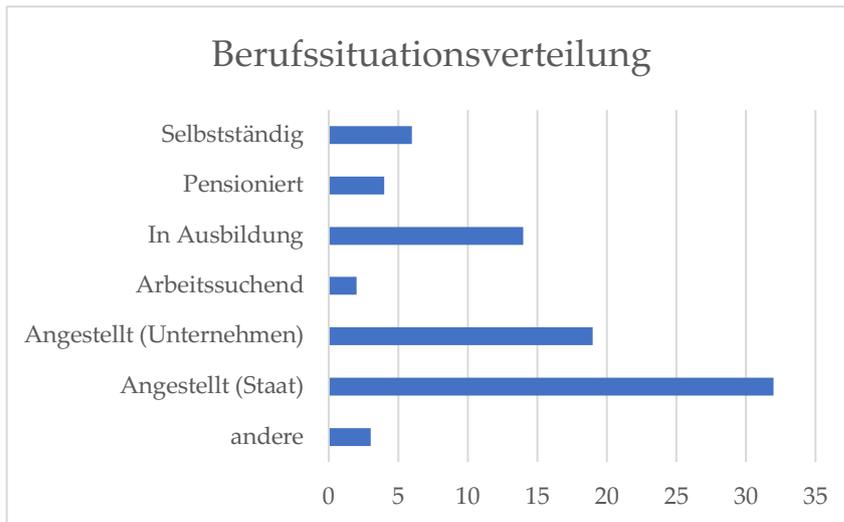


Abbildung 16: Berufssituationsverteilung der Probanden

Da die Versuche der Phase III (Gesamtszenarien) einem Überraschungseffekt unterliegen, wurde beschlossen, diese Gesamtszenarien pro Probandengruppe jeweils nur einmal durchzuführen. Darauffolgend wurden mit den Probandengruppe jeweils mehrere Versuche aus Phase II wiederholt; dabei wurde diese Gruppe als «*Primed*» vermerkt. Diese Unterscheidung bezeichnet also in den Versuchsauswertungen jeweils eine Gruppe, die bereits ein Gesamtszenario erlebt hat; dadurch können Unterschiede zwischen unvorbereiteten und vorbereiteten Probanden festgestellt werden.

Die Probanden wurden im Vorfeld der Experimente nicht im Detail darüber orientiert, worum es bei den Versuchen geht, bzw. welche Einsatzmittel zum Einsatz kommen werden. Dadurch sollte verhindert werden, dass allfällige Erwartungshaltungen der Probanden deren Wahrnehmung beeinflussen könnten. Insbesondere bei den Gesamtszenarien wurde jedoch gegenüber den Probanden explizit betont, dass es sich nur um einen simulierten Polizeieinsatz zu Übungszwecken handelt, und keinerlei reale Gefahr besteht.

6.4 Vorgehen zur Auswertung

Im Rahmen der Versuchsszenarien der Phasen II und III haben sämtliche externen Probanden physische Fragebogen zu den Versuchen sowie ihren demografischen Daten ausgefüllt. Im Anschluss an die Versuche wurden die Resultate sämtlicher Fragebogen digitalisiert und eine Excel-Tabelle angelegt, welche einen Gesamtüberblick über alle Versuche sowie deren Resultate bietet.

Zu den einzelnen Versuchen sowie zu den demografischen Daten wurden zudem jeweils separate CSV-Dateien angelegt; dabei wurde jedem Probanden eine eindeutige, anonyme ID zugeordnet (*CID*), welche in allen Datensätzen durchwegs konsistent bleibt. Dadurch werden weitere Auswertungen zur Korrelation zwischen demografischen Eigenschaften und erfassten Antworten möglich, und es wird sichergestellt, dass keine Fragebogen mehrfach erfasst sind.

Die erstellten CSV-Datensätze wurden anschliessend mittels der statistischen Programmiersprache *R* in der Entwicklungsumgebung *RStudio* (<https://www.rstudio.com/>) unter Zuhilfenahme weiterer Datenverarbeitungs-pakete (insbesondere *dplyr* (<https://dplyr.tidyverse.org/>) und *ggplot2* (<https://ggplot2.tidyverse.org/>)) verarbeitet. Dabei wurde ein systematisches Vorgehen gewählt, bei dem alle Versuche bzw. alle Fragen eines Typs nach demselben Schema ausgewertet wurden. Durch dieses systematische Vorgehen wurden insgesamt ca. 130 Graphen erstellt, die die Verteilung der Antworten zu den Fragen jedes Versuchs aufzeigen. Um diese Arbeit nicht übermässig lang zu gestalten, werden in den folgenden Kapiteln jeweils nicht alle zugehörigen Graphen aufgezeigt, sondern nur diejenigen, die zur Auswertung relevante Neuerkenntnisse beitragen können. Nichtsdestotrotz sind alle erstellten Abbildungen im Anhang dieser Arbeit zu finden.

Bei der Analyse der offenen Fragen wurde auf mehrere Arten vorgegangen: Bei Fragen, welche positiv oder negativ beantwortet werden können, wurde zunächst anhand von Begriffsfindung die Anzahl positiver, eher positiver, eher negativer, sowie negativer Antworten bestimmt. Bei Fragen, welche zudem eine

Begründung oder weitere Ausführungen erlauben, wurden zusätzlich die am häufigsten auftretenden Begriffe statistisch erfasst; dies erlaubt, wiederkehrende Themen und Stichworte in den Antworten zu identifizieren. Füllwörter sowie sehr oft vorkommende Begriffe (z.B. «Drohne», «fliegen») wurden hierbei ausgeschlossen. Die so erfassten Resultate werden jeweils im Unterkapitel «Resultate» eines jeden Experiments aufgezeigt, und anschliessend in Kapitel 10 ausgewertet und interpretiert.

Alle genannten Dateien sowie der *R*-Code der statistischen Auswertung sind im Datei-Anhang dieser Arbeit zu finden.

7 Phase I - Technische Versuche

7.1 Ziele

In der ersten Phase der Versuchsszenarien liegt der Fokus auf der Machbarkeit aller technischen Aspekte der Gesamtszenarien. Dazu gehört die Erprobung der Flugcharakteristiken von Drohnen im teilautonomen Einsatz, ihre Hör- und Sichtbarkeit, sowie die Möglichkeiten zur Personenerkennung und -verfolgung basierend auf Live-Videomaterial von verschiedenen Drohnen.

Des Weiteren soll erprobt werden, ob das Videoübertragungssystem «*Milestone*», welches bei der Stadtpolizei bereits im Einsatz ist, ausreichende Übertragungsgeschwindigkeit und -qualität für den teilautonomen Drohneneinsatz ermöglicht.

7.2 Örtlichkeit und Sicherheitsvorkehrungen

Als Testgelände wurde die unbewohnte Mehrfamilienhäuser-Siedlung am Wydäckerring 61-71 in Zürich gewählt; dieses Gelände stand der Stadtpolizei als Trainingsobjekt zur Verfügung und konnte daher relativ uneingeschränkt genutzt werden. Durch die hohe Gebäudedichte sowie dichte Vegetation im Umkreis bietet die Lokalität ein realistisches, repräsentatives und herausforderndes Bild des Einsatzes im städtischen Raum.

Um die bestehende Gesetzgebung zum Drohnenflug zu respektieren, wurden alle Flugversuche in stetigem Sichtkontakt zu mindestens einem der Drohnenpiloten durchgeführt. Zusätzlich standen alle an den Tests beteiligten Mitarbeiter in stetigem Telefon- oder Funkkontakt. Da ausserdem in einem Grossteil des Stadtgebiets Zürich eine Flughöhenbeschränkung von 150m gilt, wurde zu keinem Zeitpunkt höher geflogen. Zusätzlich wurde ein besonderes Augenmerk auf den Flugverkehr vom und zum nahegelegenen Triemlisplatz gelegt, um diesen in keiner Weise zu tangieren.

Zur Planung der Testszenarien wurde ein separates Testdokument angelegt, welches im Datei-Anhang dieser Arbeit zu finden ist.



Abbildung 17: Gelände MFH Wydäckerring

7.3 Versuche

7.3.1 Milestone-Videolink

7.3.1.1 Versuchsaufbau

Es wurde vor Ort die Latenz und Qualität der Bildübertragung einer Drohne via Milestone-System gemessen. Dabei wurde auch erprobt, ob für einen Piloten, der die Drohne nur basierend auf dem Milestone-Videosystem kontrolliert, keine zu hohe Latenz zur Bedienung vorhanden ist. Ziel der Erprobung war somit, sowohl die objektive Latenzzeit des Systems als auch die subjektive Kontrollierbarkeit einer Drohne und Bildqualität der Live-Übertragung via Milestone festzustellen.

Um die Messung der Latenzzeit sowie der Kontrollierbarkeit zu vereinfachen, wurde das Livebild via Milestone-System vor Ort auf einen Laptop übertragen. Im tatsächlichen Einsatz sowie bei späteren Versuchen ist dies in der Einsatzzentrale der Fall. Mittels Frame-by-Frame-Analyse von davon aufgenommenen Videomaterial mit einer Bildrate von 60 Bildern pro Sekunde konnte dabei die

Latenz mit einer Genauigkeit von $\pm 16.67ms$ berechnet werden. Dies ergibt sich wie folgt:

$$a = \frac{t}{f_{rec}} = \frac{1000ms}{60} = 16.\bar{6}ms$$

Wobei gilt:

a = Genauigkeit der Latenzmessung

t = Referenzzeitraum

f_{rec} = Bildrate der verwendeten Videoaufnahmen

7.3.1.2 Resultate

Es wurde gemessen, dass beim Milestone-System bei einer Bildübertragung in HD-Auflösung (1280x720p) eine durchschnittliche Latenzzeit von $\sim 1700ms$ besteht. Bei einer Bildübertragung in SD-Auflösung (720x540p) wurde eine durchschnittliche Latenzzeit von $\sim 1680ms$ gemessen, was einer nur insignifikanten Verbesserung entspricht. Diese Verzögerungswerte sind bereits bezüglich der Übertragungszeit zwischen Drohne und Fernbedienung bereinigt, d.h. entsprechen der reinen Latenzzeit des Milestone-Systems und wären durch Änderung der eingesetzten Drohne unbeeinflusst. Als Referenzwert besteht bei der Bildübertragung zwischen Drohne (DJI Mavic 2 Pro) und Fernbedienung eine durchschnittliche Latenz von $120-130ms$.

Die folgende Tabelle zeigt die erhobenen Daten zur Bildübertragung im Milestone-System, sowie Vergleichswerte einer DJI Mavic 2 Pro-Drohne. Bemerkenswert ist hier, dass im Milestone-System trotz ähnlich hoher Datenübertragungsrates im Bereich von 10-12 Mbps eine ca. um den Faktor 13 höhere Latenzzeit besteht. Dies legt den Rückschluss nahe, dass es sich nicht um rein hardware-bedingte Latenz handelt, sondern sowohl Hardware- als auch Software-Lösungen einen signifikanten Einfluss auf die messbare Latenz haben. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, dass ein Teil der Latenz auf Verzögerungen am HDMI-Ausgang der Fernsteuerung der Drohne zurückzuführen ist.

Gerät	Auflösung (in Pixel)	Übertragungsrate	Latenz	Beurteilung der Piloten
Milestone	1280x720	10-12 Mbps	~1700ms	Nicht kontrollierbar
Milestone	720x540	10-12 Mbps	~1680ms	Nicht kontrollierbar
DJI Mavic 2 Pro	1920x1080	≤12 Mbps	~130ms	Gut kontrollierbar
DJI Mavic 2 Pro	1280x720	≤12 Mbps	~130ms	Gut kontrollierbar

Tabelle 3: Latenzzeiten Milestone und DJI Mavic 2 Pro

Gemäss Einschätzung der Piloten macht die hohe Latenz das Milestone-System in seiner jetzigen Form für den manuellen Flugbetrieb ungeeignet; Aufgrund der starken Verzögerung sind eine präzise Kameraführung sowie Flugsteuerung manuell kaum möglich. Erschwerend dazu kommt die hohe Variabilität bei der Bildübertragung (gelegentliches "Ruckeln"), welche sich ebenfalls negativ auf die Flugkontrolle auswirkt.

7.3.2 Signalement-Erkennung

7.3.2.1 Versuchsaufbau

Es wurde basierend auf Live-Luftbildern erprobt, ob das Signalement einer Testperson, die das Testgebäude verlässt, ausreichend beschrieben werden kann. Die Drohne verweilt in diesen Szenarien stationär mit Blick auf den Gebäudeeingang und nimmt keine Verfolgung der Testperson auf. Die Bewertung der Beschreibung des Signalements erfolgt wie folgt:

$$r = \frac{n_{true} - 2 * n_{false}}{n_{total}}$$

Dabei gilt:

r = Gesamtbewertung, $r_{\max} = 1$

n_{true} = Anzahl korrekt erfasste Aspekte

n_{false} = Anzahl inkorrekt erfasste Aspekte

n_{total} = Anzahl vordefinierte Aspekte

Durch diese Bewertung werden inkorrekt beschriebene Aspekte des Signalelements stärker gewichtet, da Falschinformationen potenziell sogar schlechter sein könnten als ein Fehlen von Informationen. Alle Tests wurden mit derselben Versuchsperson durchgeführt, daher wurden persönliche Charakteristiken (Grösse, Haarfarbe, etc.) ausser Acht gelassen. Da die Kleidung massgeblich relevant ist, sich zwischen Versuchen gut anpassen lässt, und anspruchsvoll ist, detailliert zu beschreiben, wurden folgende sechs erfassbaren Aspekte definiert:

- 1) Schuhe
- 2) Hose
- 3) Kappe
- 4) Pullover / Jacke
- 5) Details Pullover / Jacke
- 6) Details Hose

Nach jedem Flug wurden jeweils mindestens zwei dieser Aspekte verändert, sodass eine aussagekräftige Beurteilung möglich war, bei der sich die Piloten nicht auf Erkenntnisse aus vorherigen Flügen stützen konnten. Es wurden insgesamt fünf Flüge mit zwei Drohnen (DJI Mavic 2 Pro und DJI Matrice M210 V2) durchgeführt, bei denen Entfernung, Flughöhe und Zoomstufe variiert wurde. Ein zentraler Faktor ist dabei die Line of Sight (LOS)-Distanz, bei der sowohl die Höhe als auch die Distanz der Drohne zur Zielperson relevant sind. Sie ist somit der Abstand in gerader Linie zur Zielperson; dadurch ist sie aussagekräftiger als die reine Luftlinien-Distanz.

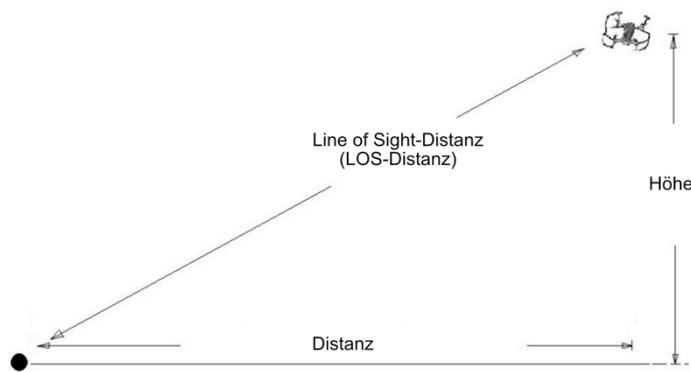


Abbildung 18: Illustration LOS-Distanz, angepasst von Li, Sun, & Li (2020)

Sie ergibt sich wie folgt:

$$d_{LOS} = \sqrt{h^2 + d^2}$$

Dabei gilt:

d_{LOS} = Line of Sight-Distanz

h = Flughöhe

d = Distanz

7.3.2.2 Resultate

Die folgende Tabelle zeigt zu allen durchgeführten Flügen die jeweilige Flughöhe und -distanz, die LOS-Distanz, den verwendeten Zoom-Faktor der Kamera, die Anzahl korrekt und falsch erfasster Aspekte (n_{true} , n_{false}) sowie die daraus resultierende Bewertung r .

#	Drohne	Flughöhe (m)	Distanz (m)	LOS-Distanz (m)	Zoom-Faktor	n_{true}	n_{false}	Bewertung r
1	Mavic 2 Pro	13	20	~24	-	4	0	~0.67
2	Mavic 2 Pro	50	30	~58	-	4	1	~0.167
3	Matrice M210 V2	100	100	~141	~10x	6	0	1
4	Matrice M210 V2	100	200	~224	~20x	6	0	1
5	Matrice M210 V2	150	240	~283	30x	6	0	1

Tabelle 4: Bewertung Signalement-Erkennung

Dabei ist ersichtlich, dass eine Erfassung des Signalements mit der DJI Mavic 2 Pro selbst bei geringer LOS-Distanz nur unzureichend möglich ist. Durch Verwendung einer Kamera mit Zoom ist dagegen selbst bei höchster Distanz eine sehr gute Bestimmung des Signalements möglich; dabei muss erst bei hoher Distanz auf eine hohe Zoom-Stufe zurückgegriffen werden. Die folgenden Abbildungen zeigen zu einigen der durchgeführten Flüge die Live-Darstellung, auf der die Signalement-Erkennung basierte.



Abbildung 19: Aufnahme Flug 2

Die obenstehende Abbildung zeigt eine Aufnahme des Live-Videobilds von Flug 2, sowie eine nachträglich eingefügte digitale Vergrößerung der gezeigten Versuchsperson. Basierend auf dem Livebild gingen die Piloten hier davon aus, dass die Testperson eine weisse Kappe trägt; dies war inkorrekt und führte zu einer niedrigen Bewertung von $r \approx 0.167$.

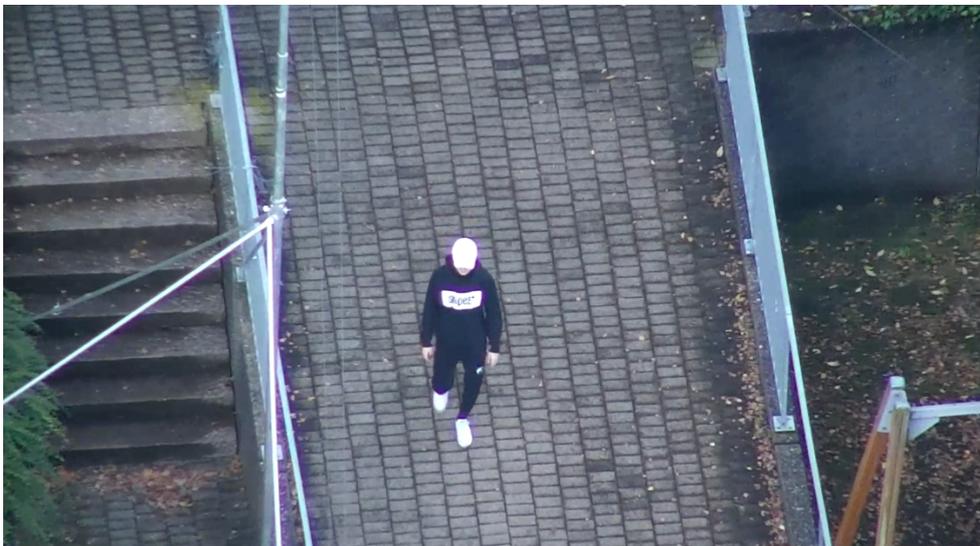


Abbildung 20: Aufnahme Flug 3

Die obenstehende Abbildung zeigt eine Aufnahme des Live-Videobild von Flug 3 bei ca. 10-fachem Zoom. Hier sind bereits Details wie der Schriftzug des Pullovers oder ein Logo auf der Hose gut erkennbar, und eine eindeutige Feststellung des Signalements möglich.



Abbildung 21: Aufnahme Flug 5

Die obenstehende Abbildung zeigt eine Aufnahme des Live-Videobild von Flug 5 bei ca. 30-fachem Zoom. Hier sind weiterhin Details wie der Schriftzug des Pullovers oder ein Logo auf der Hose erkennbar, und eine eindeutige Feststellung des Signalements möglich. Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Aufnahme aus derselben Distanz und Höhe, jedoch ohne Zoom; hier ist die Versuchsperson kaum sichtbar, und es zeigt sich, dass durch die Verwendung von Zoom eine signifikante Distanz überbrückt werden konnte, um verwertbare Aufnahmen zu gewinnen. Das rote Rechteck zeigt dabei den ungefähren Bildausschnitt der vorherigen Abbildung.



Abbildung 22: Aufnahme Flug 5, kein Zoom

7.3.3 Manuelle Personenverfolgung

7.3.3.1 Versuchsaufbau

Es wurde erprobt, ob bei manueller Kontrolle durch einen Piloten und ggf. einen Kamera-Operator im städtischen Umfeld (Gebäude, Grünflächen) eine Person, die ein festgelegtes Testgebäude verlässt, erfolgreich observiert und verfolgt werden kann. Dabei erfolgte die Verfolgung innerhalb eines vordefinierten Aktionsradius von ca. 200m, um im Sichtfeld der Piloten zu bleiben. Zu diesem Zweck wurden drei Flüge durchgeführt. Die Bewertung der manuellen Personenverfolgung erfolgt wie folgt:

$$r = \frac{t_{tracked} - t_{lost}}{t_{total}}$$

Dabei gilt:

r = Gesamtbewertung ($r_{max} = 1$)

$t_{tracked}$ = Zeit (in Sekunden) bis zum Zeitpunkt, an dem die Person verloren wurde

t_{lost} = Zeit (in Sekunden), während der die Person bis zu diesem Zeitpunkt nicht sichtbar war

t_{total} = Insgesamt vergangene Zeit (in Sekunden), bis die Person den Zielort erreicht hat

7.3.3.2 Resultate

Die folgende Tabelle zeigt zu allen durchgeführten Flügen die jeweilige Flughöhe sowie die Bewertung der erfolgten manuellen Personenverfolgung.

#	Drohne	Flughöhe (m)	t _{tracked} (s)	t _{lost} (s)	t _{total} (s)	Bewertung <i>r</i>	Bemerkungen
1	Mavic 2 Pro	<50	420	71	420	~0.83	Verfolgung möglich, keine Identifikation möglich
2	Mavic 2 Pro	100	0	-	-	0	Verfolgung nicht mög- lich, keine Identifika- tion möglich
3	Matrice M210 V2	100	59	17	407	~0.10	Verfolgung und Iden- tifikation möglich, flugtechnisch jedoch anspruchsvoll

Tabelle 5: Bewertung manuelle Personenverfolgung

Es zeigt sich hierbei, dass mit der kleineren getesteten Drohne ohne Zoom (Mavic 2 Pro) bei geringer Flughöhe und -distanz eine akzeptable Verfolgung der Testperson möglich war (Flug 1). Dabei war diese gelegentlich nicht sichtbar, konnte jedoch bis zum Eintreffen am Zielort verfolgt werden. Durch Erhöhen der Distanz (Flug 2) wurde die Verfolgung verunmöglicht; die Zielperson war im Kamerabild nur noch als «Punkt» erkennbar und wurde rasch verloren.

Beim Versuch mit der grösseren, mit Zoom ausgerüsteten Drohne (Flug 3) zeigte sich, dass eine Verfolgung technisch möglich ist, aber sich aus Pilotensicht sehr anspruchsvoll gestaltet – es muss hierbei äusserst effizient zwischen Pilot und Kamera-Operator koordiniert werden.

7.3.4 Teilautonome Fahrzeugverfolgung

7.3.4.1 Versuchsaufbau

Es wurde erprobt, ob bei teilautonomer Kontrolle durch einen Piloten im städtischen Umfeld (Gebäude, Grünflächen) ein Fahrzeug, eine vordefinierte Strecke

befährt, erfolgreich observiert werden kann. Ziel ist es hierbei, ein Maximum an Autonomie (visuelles Tracking des Fahrzeugs, "ActiveTrack") zu nutzen. Die Bewertung der teilautonomen Fahrzeugverfolgung erfolgt wie folgt:

$$r = \frac{t_{tracked} - t_{lost}}{t_{total}}$$

Dabei gilt:

r = Gesamtbewertung ($r_{\max} = 1$)

$t_{tracked}$ = Zeit (in Sekunden) bis zum Zeitpunkt, wo das Fahrzeug verloren wurde

t_{lost} = Zeit (in Sekunden), während der das Fahrzeug bis zu diesem Zeitpunkt nicht sichtbar war

t_{total} = Insgesamt vergangene Zeit (in Sekunden), bis das Fahrzeug die vordefinierte Strecke beendet hat

7.3.4.2 Resultate

Es zeigte sich, dass eine bildbasierte, teilautonome Verfolgung des Testfahrzeugs («ActiveTrack», siehe DJI (2018)) bereits nach wenigen Sekunden scheiterte; eine aussagekräftige Bewertung war hier daher kaum möglich, und der Flug resultierte in einem r -Wert von ~ 0.03 . Da sich somit gezeigt hatte, dass eine teilautonome Verfolgung des Testfahrzeugs nicht möglich ist, wurde derselbe Flug mit manueller Kontrolle durch den Piloten nochmals durchgeführt und bewertet (Flug 2); hierbei konnte das Fahrzeug stets im Blickfeld behalten werden, und dementsprechend wurde die Maximalbewertung von $r = 1$ erreicht.

#	Drohne	Flughöhe (m)	$t_{tracked}$ (s)	t_{lost} (s)	t_{total} (s)	Bewertung r
1	Mavic 2 Pro	75	5	0	167	~ 0.03
2	Mavic 2 Pro	75	167	0	167	1

Tabelle 6: Bewertung Fahrzeugverfolgung

Insgesamt zeigte dieser Versuch, dass eine autonome, bildbasierte Verfolgung sowohl eines Fahrzeugs als auch einer Testperson derzeit kaum möglich ist; daher wurde beschlossen, diesen Aspekt in alle weiteren Experimente nicht mehr zu integrieren.

7.3.5 Sicht- und Hörbarkeit

7.3.5.1 Versuchsaufbau

Es wurde erprobt, ob eine Versuchsperson eine sich annähernde Drohne bei unterschiedlichen Flughöhen hören und lokalisieren kann. Da das gewählte Testgelände eher ruhig gelegen ist, ist davon auszugehen, dass im dichteren städtischen Raum einen weniger starke Hörbarkeit gegeben ist.

Beim Versuch bewegte sich die Testperson innerhalb des Testgeländes, und wurde dabei von der jeweiligen Drohne aus einer fixen Flughöhe und mit variabler Distanz, observiert. Es ist an dieser Stelle wichtig anzumerken, dass die Resultate dieses Versuchs subjektiv sind – jedoch ist davon auszugehen, dass eine Testperson, welche bewusst nach einer Drohne Ausschau hält, wohl sensibler auf deren Hör- und Sichtbarkeit ist als eine nicht informierte Person im städtischen Raum.

7.3.5.2 Resultate

Es zeigte sich, dass bei der kleineren Drohne bei geringer Distanz (Flug 1) eine hohe Hör- und Sichtbarkeit festzustellen ist, während sie bei mittlerer Distanz (Flug 2) bereits kaum mehr bemerkbar ist – hier ist davon auszugehen, dass eine Person, die nicht aktiv nach der Drohne Ausschau hält, diese nicht bemerken würde.

Anders verhält es sich bei der grösseren getesteten Drohne (Flüge 3 bis 5): bei dieser war es trotz grösstmöglicher Distanz und Flughöhe nicht möglich, die

Testperson unbemerkt zu observieren. Die folgende Tabelle zeigt dazu die erfassten, subjektiven Resultate.

#	Drohne	Flughöhe (m)	Hörbarkeit	Sichtbarkeit
1	Mavic 2 Pro	50	hoch	hoch
2	Mavic 2 Pro	100	gering	gering
3	Matrice M210 V2	50	hoch	hoch
4	Matrice M210 V2	100	hoch	hoch
5	Matrice M210 V2	150	hoch	mittel / hoch

Tabelle 7: Bewertung Sicht- und Hörbarkeit

7.3.6 Autonomer Flug an einen Zielpunkt

7.3.6.1 Versuchsaufbau

Es wurde erprobt, ob es einer Drohne möglich ist, eine vordefinierte Strecke erfolgreich autonom abzufliegen, und danach autonom zum Ausgangspunkt zurückzukehren. Um diesen Versuch möglichst einsatzrelevant zu gestalten, wurde versucht, die Flugstrecke zu maximieren. Um die Gefährdung Dritter zu minimieren, wurde beschlossen, diesen Flug über dem Zürichsee durchzuführen. Start- und Zielort waren dabei das Zürichhorn, respektive die Regionalwache Mythenquai der Wasserschutzpolizei. Die dazwischenliegende Strecke von ~1km Länge befindet sich ausschliesslich über dem Zürichsee, und somit konnte sichergestellt werden, dass sich keine unbeteiligten Personen unterhalb der Drohne aufhalten. Zusätzlich wurde zur Sicherheit und zur Einhaltung des Sichtkontakts zur Drohne am Zielort eine Person als «Spotter» positioniert, welche stets per Funk mit den Piloten in Verbindung stand. Der Flug wurde mit einer DJI Mavic 2 Pro absolviert, bei der die Flugroute im Vorfeld einprogrammiert wurde.

7.3.6.2 Resultate

Es zeigte sich, dass die Drohne der einprogrammierten Flugroute ohne Probleme autonom folgen konnte, und im Anschluss wie vorgegeben an den Ausgangspunkt zurückkehren konnte. Es musste zu keinem Zeitpunkt durch die Piloten in die vorprogrammierte Flugroute eingegriffen werden; somit erwies sich, dass das Abfliegen vordefinierter Flugrouten auch über längere Distanzen problemlos möglich ist.

7.4 Zwischenresultate und Schlussfolgerungen

Basierend auf den Resultaten der durchgeführten technischen Versuche konnten für die weitere Planung folgende Rückschlüsse gezogen werden:

- 1) Das *Milestone*-System zur Videoübertragung kann nicht zur Steuerung der Drohne genutzt werden, ist jedoch ausreichend, um Live-Videomaterial in die Einsatzzentrale zu übermitteln.
- 2) Es können bei weiteren Versuchen vorprogrammierte Flugrouten verwendet werden, welche die Drohne wiederholt und vollständig autonom abfliegt.
- 3) Bei weiteren Versuchen, bei denen das Signalement des Täters relevant ist oder dieser verfolgt werden soll, sollte stets eine mit Zoom-Kamera ausgerüstete Drohne verwendet werden. Wenn Personen oder Fahrzeuge verfolgt werden sollen, sollte dies durch einen Piloten gesteuert geschehen.
- 4) Es lässt sich bereits feststellen, dass die grössere der erprobten Drohnen (DJI Matrice M210 V2) im Einsatz sehr auffällig ist; bei der Wahl der Testlokalität für weitere Versuche sollte dies berücksichtigt werden, um Unbeteiligte möglichst wenig zu tangieren.

8 Phase II – Interaktions- und Komparativszenarien

8.1 Ziele

In der zweiten Phase der Versuchsszenarien liegt der Fokus darauf, die Wahrnehmung von Drohnen durch die Bevölkerung aufgrund unterschiedlicher Gesichtspunkte zu analysieren. Dazu wird eine Reihe von Flügen unter Beobachtung externer Teilnehmer durchgeführt, welche im Anschluss dazu befragt werden. Ziel ist dabei, einzelne Aspekte des Drohneneinsatzes unabhängig in verschiedenen Variationen zu erproben, um so festzustellen, welche Ausprägungen von der Bevölkerung besonders positiv bzw. negativ wahrgenommen werden.

8.2 Örtlichkeit und Sicherheitsvorkehrungen

Als Testgelände wurde das Ausbildungszentrum Riedikon gewählt; das Gelände konnte zur Durchführung der Tests reserviert werden, um so die Versuche in einer kontrollierten, konstanten Umgebung durchführen zu können. Des Weiteren bietet das Gelände den Vorteil, ausserhalb von dicht besiedeltem Wohngebiet gelegen zu sein – dadurch konnte die Beeinträchtigung unbeteiligter Drittpersonen auf ein Minimum reduziert werden.

Um die bestehende Gesetzgebung zum Drohnenflug einzuhalten, wurden alle Flugversuche in stetigem Sichtkontakt zu mindestens einem der Drohnenpiloten durchgeführt. Zusätzlich standen alle an den Tests beteiligten Personen in stetigem Funkkontakt. Im Gebiet um Riedikon gilt eine Flughöhenbeschränkung von 150m, weshalb zu keinem Zeitpunkt höher geflogen wurde. Da sich das Testgelände ausserdem ausserhalb des Stadtgebiets Zürich befindet, wurden im Vorfeld die zuständigen Polizeistellen über die geplanten Versuche informiert.

Zur Planung der Testszenarien wurde ein separates Testdokument angelegt, welches im Datei-Anhang dieser Arbeit zu finden ist.

- 1 Theoriesaal (60 Personen)
- 2 Garderobe
- 3 WC Damen / Herren
- 4 Werkstatt
- 5 Atemschutz Raum
- 6 Wasch- / Retablierungsplatz
- 7 Holzwoollenlager
- 8 Klassenzimmer 1-3 (14 Pers.)
- 9 Klassenzimmer 4 (16 Pers.)
- 10 Büro Zentrumleitung / Platzwart
- 11 Kantine
- 12 Materialmagazin beheizt
- 13 Alkohollager
- 14 Garagen 1 - 4
- 15 Brandwanne
- 16 Mehrzweckrettungsstation
- 17 Atemschutz - Container
- 18 Kleines Brandhaus
- 19 Grosses Brandhaus
- 20 Mehrzweckstation
- 21 Höhenrettung
- 22 Langer Anmarschweg
- 23 Trümmerlage (Mexiko)
- 24 Materialmagazin unbeheizt
- 25 Brennholzlager
- 26 Pumpenhaus / Ansaugbecken
- 27 Pionierplatz Belag
- 28 Pionierplatz Kies



Übersichtsplan az 2014

Abbildung 23: Übersichtplan Ausbildungszentrum Riedikon (Quelle: Ausbildungszentrum Riedikon, 2014)

8.3 Versuche

8.3.1 Flughöhen und -distanzen

8.3.1.1 Versuchsaufbau

Der Aspekt der Distanz zwischen dem Beobachter und einer (teil-)autonom operierenden Drohne ist ein zentraler Punkt der Interaktion zwischen Mensch und Drohne (Tezza & Andujar, 2019). Deshalb wurde erprobt, welchen Einfluss unterschiedliche Drohnen aus grösseren bzw. kleineren Distanzen auf die Probanden haben. Bei der anschliessenden Befragung der Probanden standen folgende Kernfragen im Zentrum:

- 1) Wie wirkt eine Drohne aus verschiedenen physischen Distanzen auf Dritte? Wirkt die Drohne eher beruhigend oder beängstigend?
- 2) Wurde die Drohne als störend wahrgenommen?
- 3) War erkenntlich, was die Drohne für eine Funktion erfüllt?
- 4) Wie realistisch schätzen Probanden die Distanz zur Drohne ein?

Zur Beantwortung wurde eine Reihe von Flügen gemäss folgender Abbildung durchgeführt, zu denen die Probanden im Anschluss befragt wurden.

Nr.	Höhe	Distanz	Drohne
1	50m	50m	Mavic 2 Pro
2	100m	100m	Mavic 2 Pro
3	50m	50m	Matrice M210
4	100m	100m	Matrice M210

Tabelle 8: Versuche zu Flughöhen und -distanzen

Im Anschluss an jeden der Flüge mussten die Probanden folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (*trifft gar nicht zu*) bis 5 (*trifft völlig zu*) bewerten:

- 1) Die Drohne hat gefährlich auf mich gewirkt.
- 2) Die Drohne hat mich gestört.
- 3) Die Geräusche der Drohne haben mich gestört.
- 4) Die Drohne wirkte beängstigend.
- 5) Ich weiss, wohin die Drohne geschaut hat.
- 6) Ich konnte einschätzen, was die Drohne tat.
- 7) Ich finde, die Drohne war weit genug von mir entfernt.

Zudem wurden folgende offenen Fragen gestellt:

- 8) Wie weit schätzen Sie, war die Drohne entfernt? Wie hoch?
- 9) Haben Sie die Drohne problemlos bemerkt? Weshalb/weshalb nicht?

Im Anschluss an den letzten der vier Flüge wurden ausserdem folgende offenen Fragen gestellt:

- 1) Hat die Entfernung zur Drohne beeinflusst, wie Sie diese wahrgenommen haben? Weshalb/weshalb nicht?
- 2) Welche der vier Varianten haben Sie als am angenehmsten empfunden? Weshalb?
- 3) Welche der vier Varianten haben Sie als am wenigsten angenehm empfunden? Weshalb?

8.3.1.2 Resultate

Die folgende Abbildung zeigt zu jedem der vier Flüge die Antwortverteilungen der Probanden zur Aussage «Die Drohne hat gefährlich auf mich gewirkt».

Dabei lässt sich feststellen, dass zwischen Flügen derselben Drohne in unterschiedlichen Distanzen (Flug 1 und 2, respektive Flug 3 und 4) nur geringe Unterschiede in der Einschätzung der Gefahr durch eine Drohne bestehen.

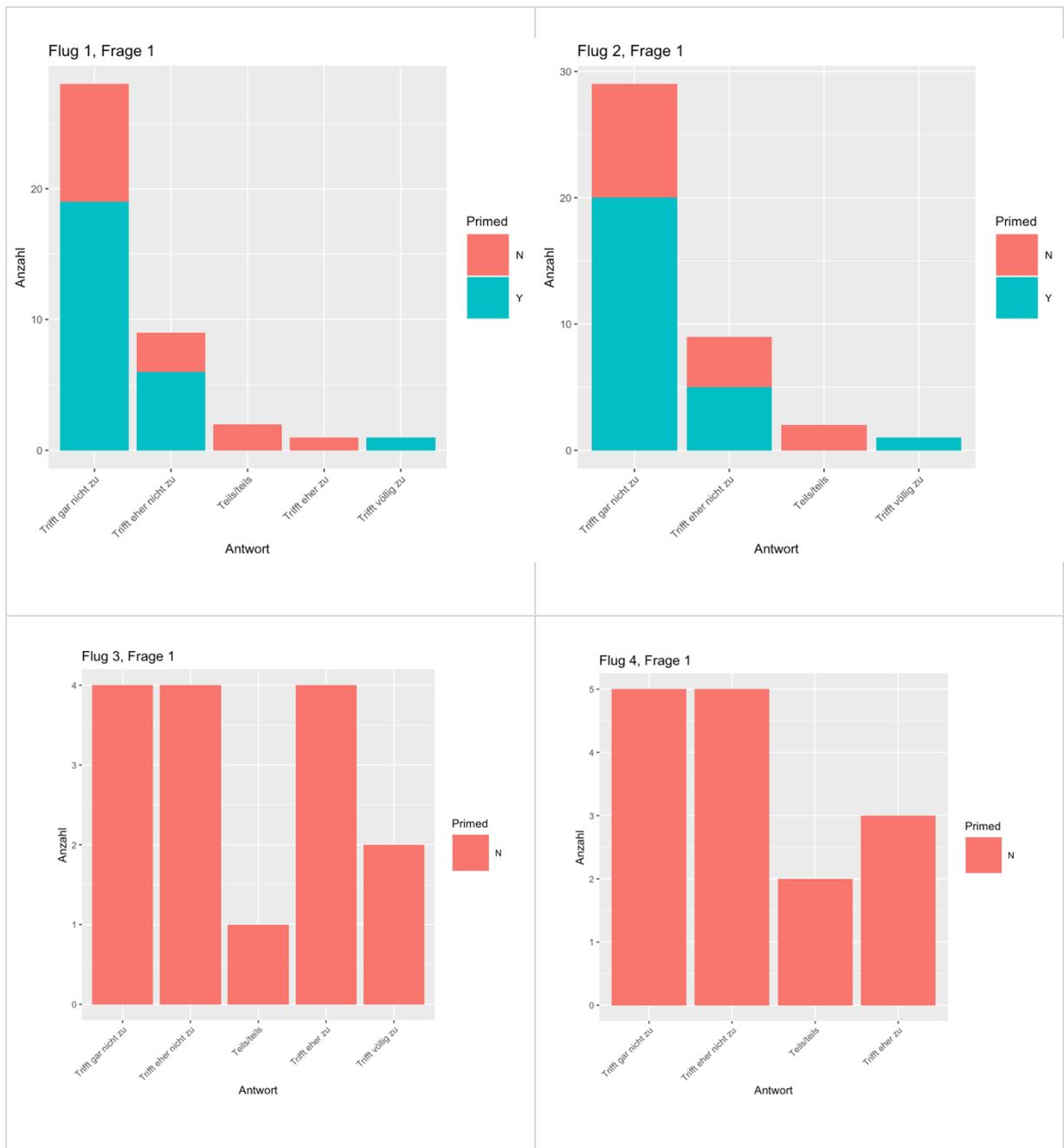


Abbildung 24: Antwortverteilung "Die Drohne hat gefährlich auf mich gewirkt."

Anders verhält es sich bei der Einschätzung des Störfaktors der Geräusche einer Drohne: Durch Erhöhung der Flugdistanz und -höhe verringert sich bei beiden getesteten Drohnen die Stärke der störenden Geräuschbeeinträchtigung der Probanden (Abbildung 25). Bei der Einschätzung der Funktion einer Drohne («Ich konnte einschätzen, was die Drohne tat.») verhielt es sich analog hierzu: Mit Erhöhung der Distanz sinkt das Verständnis dafür, welche Funktion die Drohne erfüllt.

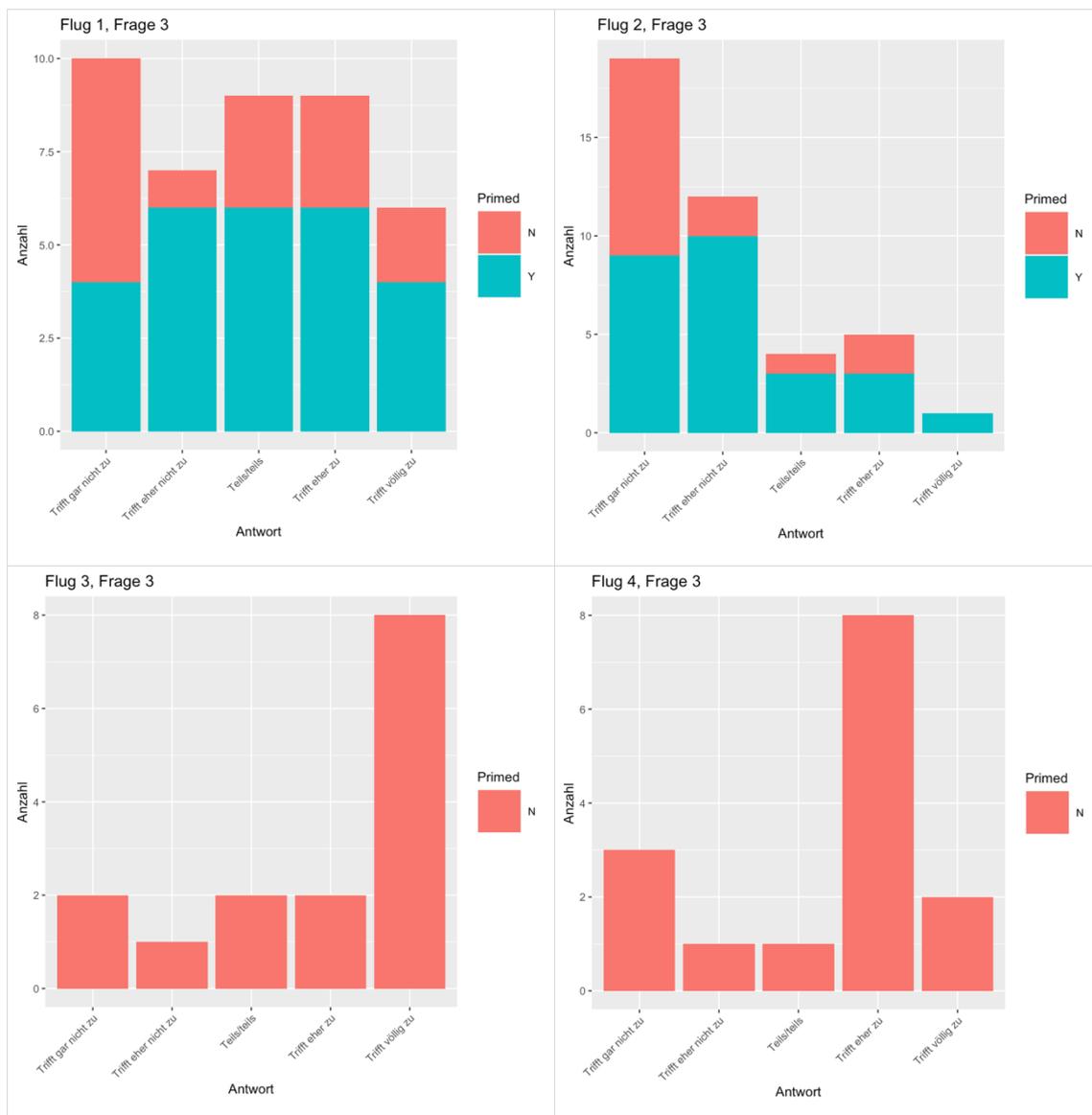


Abbildung 25: Antwortverteilung "Die Geräusche der Drohne haben mich gestört."

Eine weitere interessante Erkenntnis liefert die Analyse der Distanzeinschätzung der Drohnen durch die Probanden. Die folgende Abbildung zeigt für jeden der durchgeführten Flüge die Verteilung der durch die Probanden ge-

geschätzten Flugdistanzen; extreme Ausreisser ($>1'000\text{m}$) wurden dabei nicht berücksichtigt. Die vertikale Linie in jeder Grafik zeigt jeweils die tatsächliche Flugdistanz. Hier lässt sich eindeutig feststellen, dass die Schätzungen der Probanden bei Flügen 1 und 2 («kleine» Drohne, Mavic 2 Pro) deutlich näher an der Realität lagen, während bei Flügen 3 und 4 («grosse» Drohne, Matrice M210 V2) durchschnittlich Distanzen um ca. 50% zu tief eingeschätzt wurden.

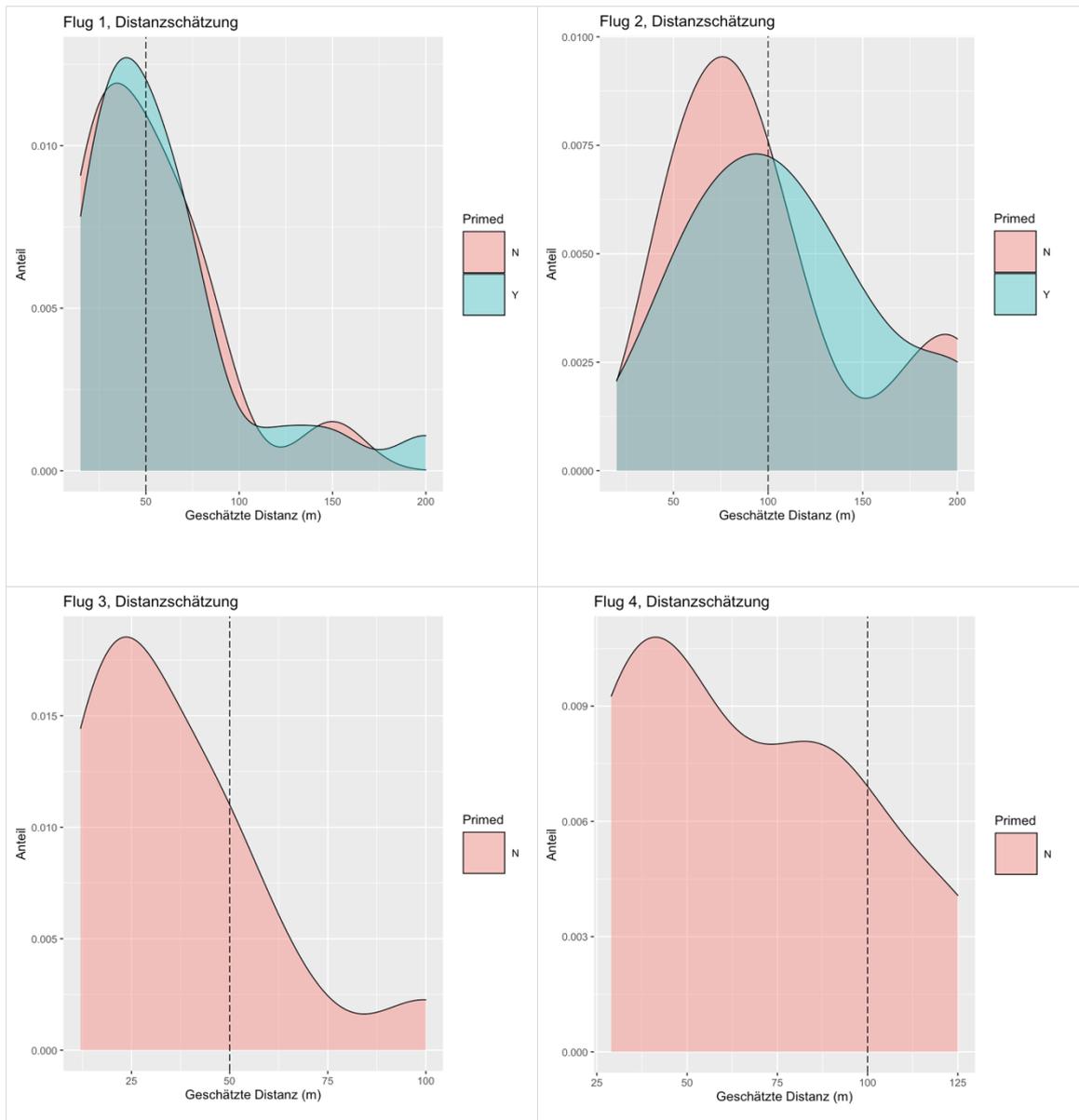


Abbildung 26: Distanzschätzungen

Mit 11 zu 3 Stimmen sagte zudem die Mehrheit der Teilnehmer aus, dass die Entfernung zur Drohne beeinflusst hat, wie sie diese wahrgenommen haben.

Des Weiteren liess sich feststellen, dass Varianten mit kleineren Drohnen sowie in höherer Distanz insgesamt eine höhere Akzeptanz fanden, wie die folgende Abbildung zeigt.

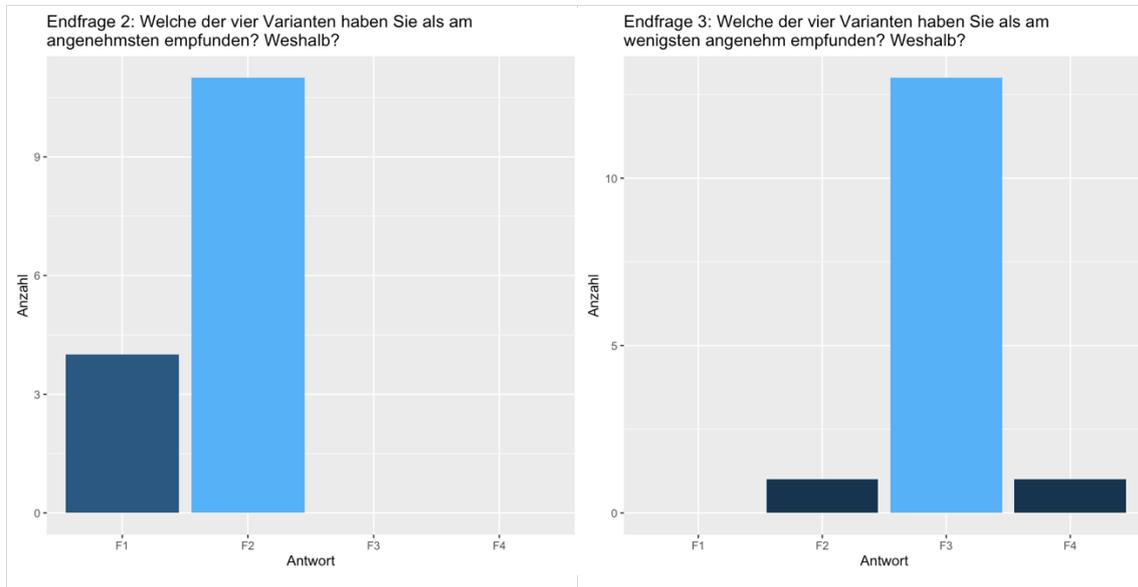


Abbildung 27: Antwortverteilung Distanz-Präferenz

8.3.2 Gestik

8.3.2.1 Versuchsaufbau

Es soll bestimmt werden, welchen Einfluss die Gestik einer teilautonomen Drohne auf die Bevölkerung vor Ort hat. Dabei wurden der Faktor der Mobilität (beschleunigen und abbremsen vs. kontinuierliche Bewegung) sowie das Flugmuster (sanfte Bewegungen oder «robotische», eckige Bewegungsmuster) als Unterscheidungsmerkmal geprüft. Bei der anschliessenden Befragung der Probanden standen folgende Kernfragen im Zentrum:

- 1) Welche Bewegungsmuster haben welchen Einfluss auf die subjektive Wahrnehmung der Drohne durch Individuen vor Ort?
- 2) Wie kann durch Gestik erreicht werden, dass eine Drohne als möglichst unbedrohlich wahrgenommen wird? Wie kann erreicht werden, dass sie möglichst abschreckend wirkt?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurden zwei Flüge gemäss folgenden Flugplänen durchgeführt:

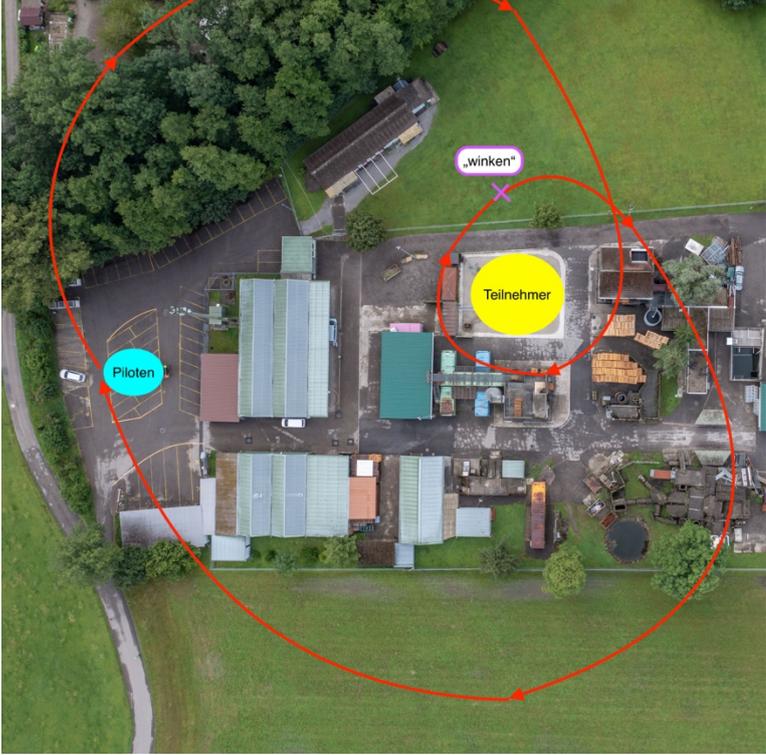
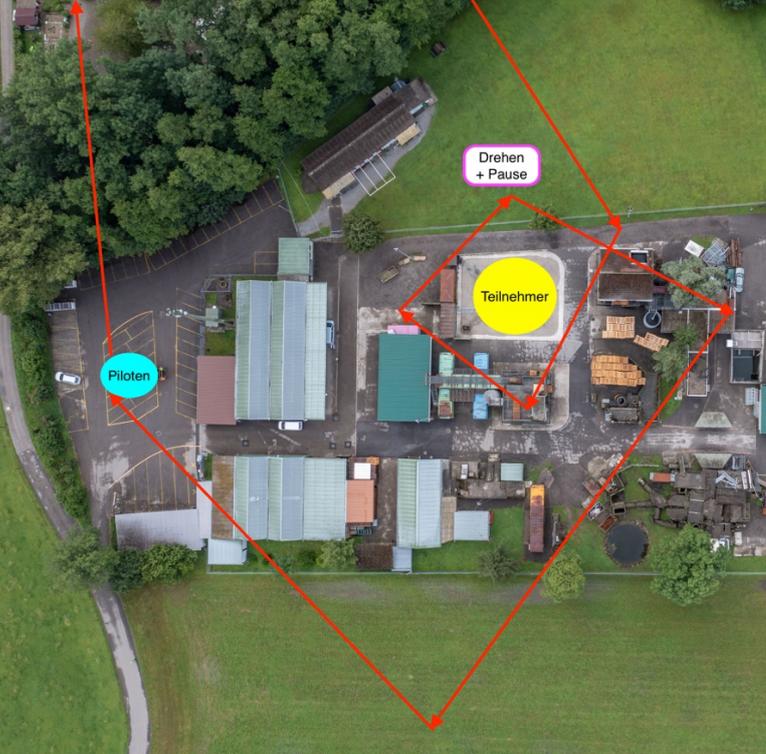
Nr.	Merkmale	Flugplan
1	<p>Ruhige Bewegungsabläufe, gleitende Kurvenflüge, kontinuierliche Bewegung</p>	
2	<p>«Robotische» Bewegungsmuster, Verharren auf Eckpunkten, starke Beschleunigung/Abbremsen zwischen Wegpunkten</p>	

Tabelle 9: Versuche zu Gestik

Diese Flüge wurden komplett autonom anhand vorprogrammierter Wegpunkte durchgeführt; so konnte sichergestellt werden, dass jeder Probandengruppe exakt derselbe Flug gezeigt wurde. Beide Flüge wurden mit der DJI Mavic 2 Pro durchgeführt.

Im Anschluss an jeden der Flüge mussten die Probanden folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (*trifft gar nicht zu*) bis 5 (*trifft völlig zu*) bewerten:

- 1) Die Drohne hat bedrohlich gewirkt.
- 2) Ich konnte abschätzen, wohin sich die Drohne bewegen wird.
- 3) Ich konnte einschätzen, was die Drohne tat.
- 4) Die Drohne war sympathisch.
- 5) Ich denke, ein Mensch hat die Drohne kontrolliert.
- 6) Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt.

Zudem wurden folgende offenen Fragen gestellt:

- 7) Hat die Drohne freundlich auf Sie gewirkt? Weshalb/weshalb nicht?
- 8) Wie haben Sie sich durch die Anwesenheit der Drohne gefühlt?

Im Anschluss an den zweiten Flug wurden ausserdem folgende offenen Fragen gestellt:

- 1) Welche der beiden Varianten war angenehmer? Weshalb?
- 2) Weshalb dachten Sie, dass die Drohne autonom oder von einem Menschen gesteuert geflogen ist?

8.3.2.2 Resultate

Die Auswertung zeigt, dass die Bedrohlichkeit der Drohne weitestgehend neutral eingeschätzt wird; es lässt sich jedoch auch feststellen, dass Flug 2 («robotisches» Bewegungsmuster) insgesamt deutlich öfter als klar bedrohlich eingeschätzt wurde. Signifikante Unterschiede zwischen vorbereiteten und unvorbereiteten Probanden lassen sich hierbei nicht feststellen.

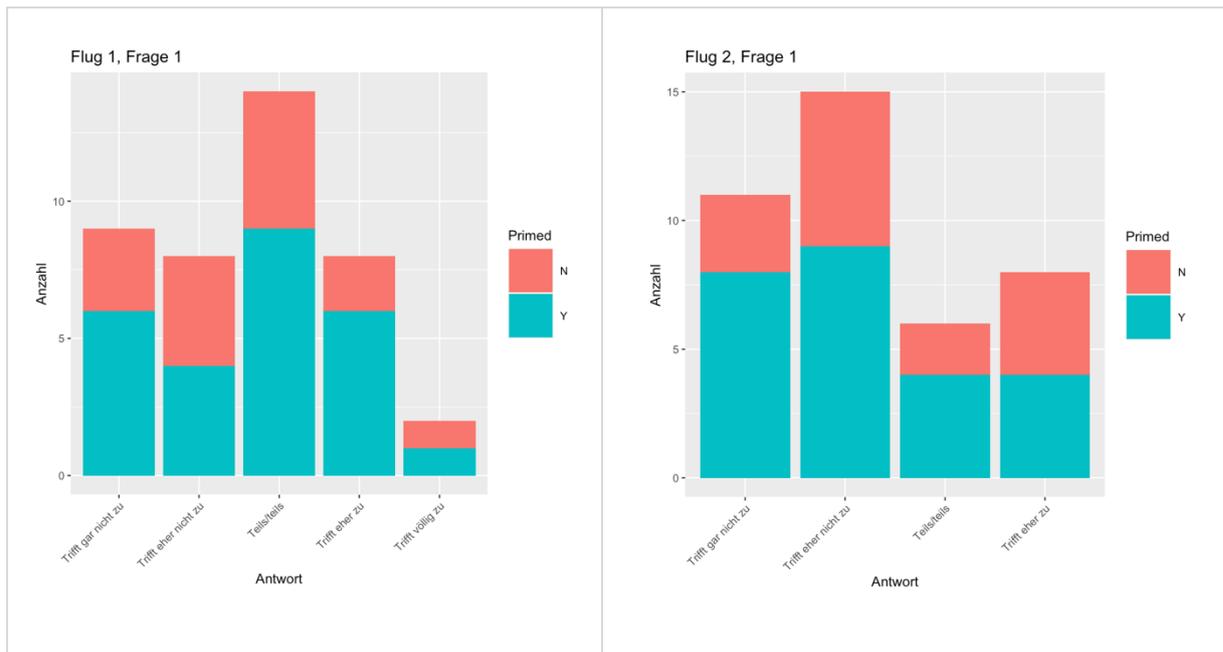


Abbildung 28: Antwortverteilung "Die Drohne hat bedrohlich gewirkt."

Bei der Einschätzung des Zwecks der Drohne («*Ich konnte einschätzen, was die Drohne tat.*») sowie bei der Sympathie der Drohne («*Die Drohne war sympathisch.*») liessen sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Varianten feststellen; lediglich erhielt Flug 2 leicht mehr positive Sympathie-Bewertungen.

Bei der Einschätzung der Autonomie lassen sich hingegen starke Unterschiede zwischen den Bewegungsmustern feststellen: während Flug 1 tendenziell als nicht-autonom bewertet wurde, waren die Antworten bei Flug 2 deutlich unklarer, und ca. die Hälfte der Probanden schätzte den Flug als autonom ein.

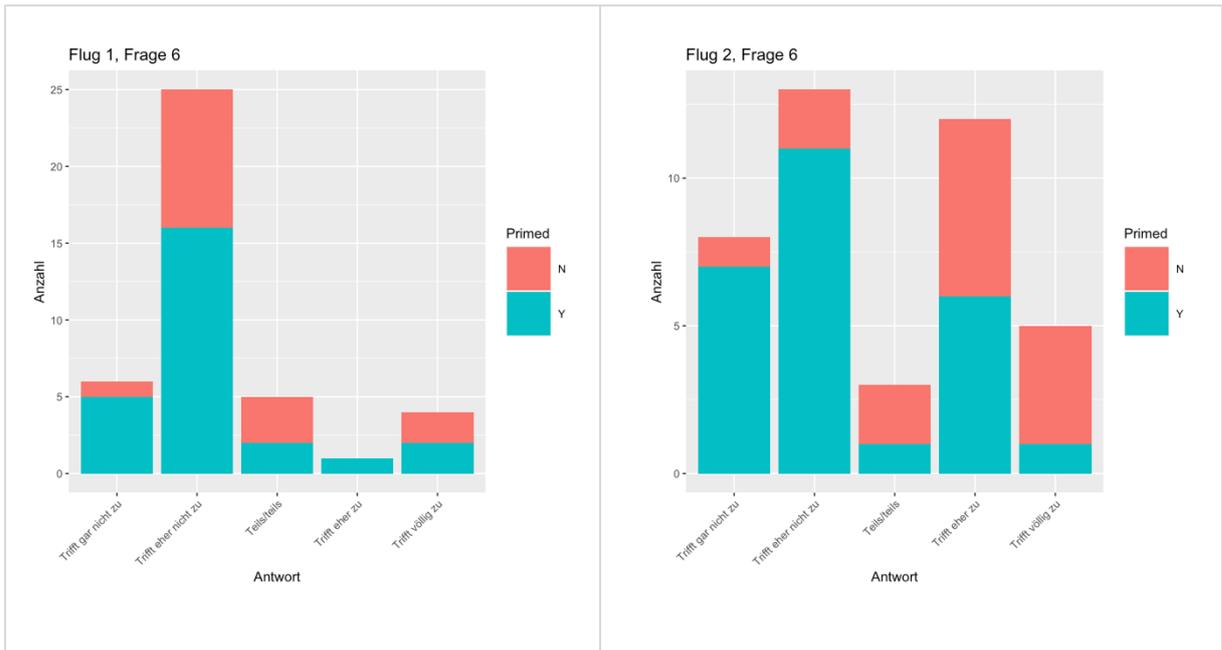


Abbildung 29: Antwortverteilung "Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt."

Interessanterweise verhält es sich bei der Frage «Hat die Drohne freundlich auf sie gewirkt?» ähnlich: Während die Drohne bei Flug 1 überwiegend als nicht freundlich betrachtet wird, zeigt Flug 2 ein stark zweigespaltenes Bild, bei denen jeweils etwa die Hälfte der Antworten positiv bzw. negativ ausfallen.

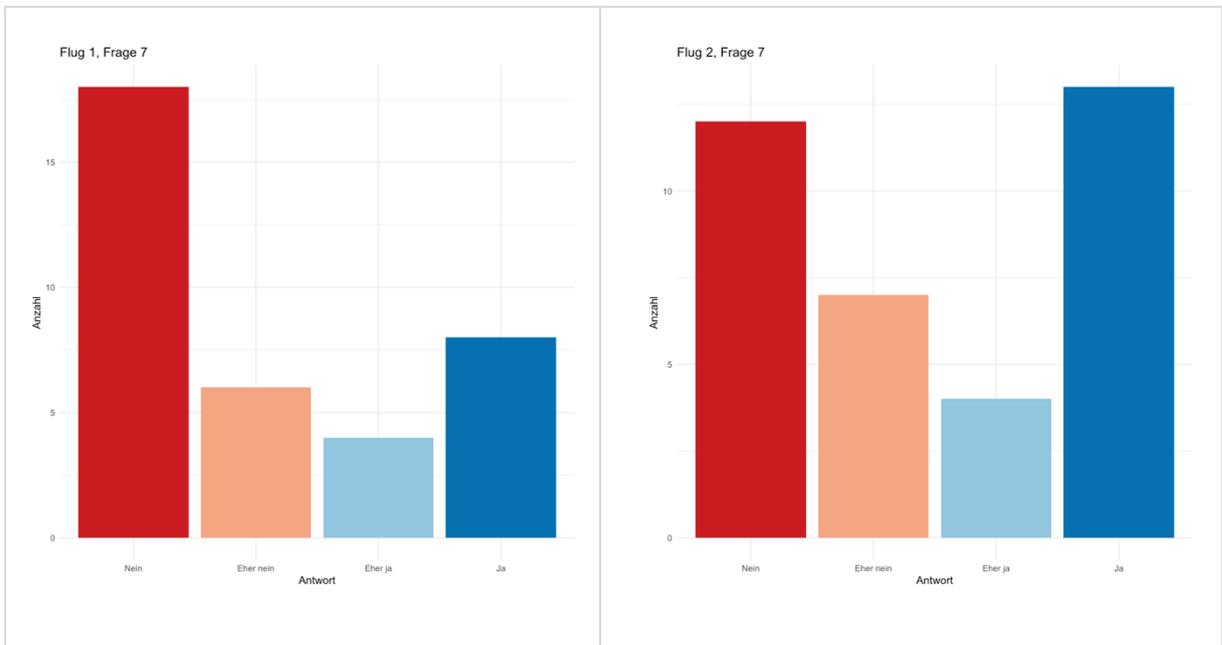


Abbildung 30: Antwortverteilung "Hat die Drohne freundlich auf Sie gewirkt?"

Des Weiteren wurden die Probanden befragt, wie Sie sich durch die Anwesenheit der Drohne gefühlt haben. Die Erfassung der dabei am häufigsten genannten Begriffe ergibt folgende Abbildung:

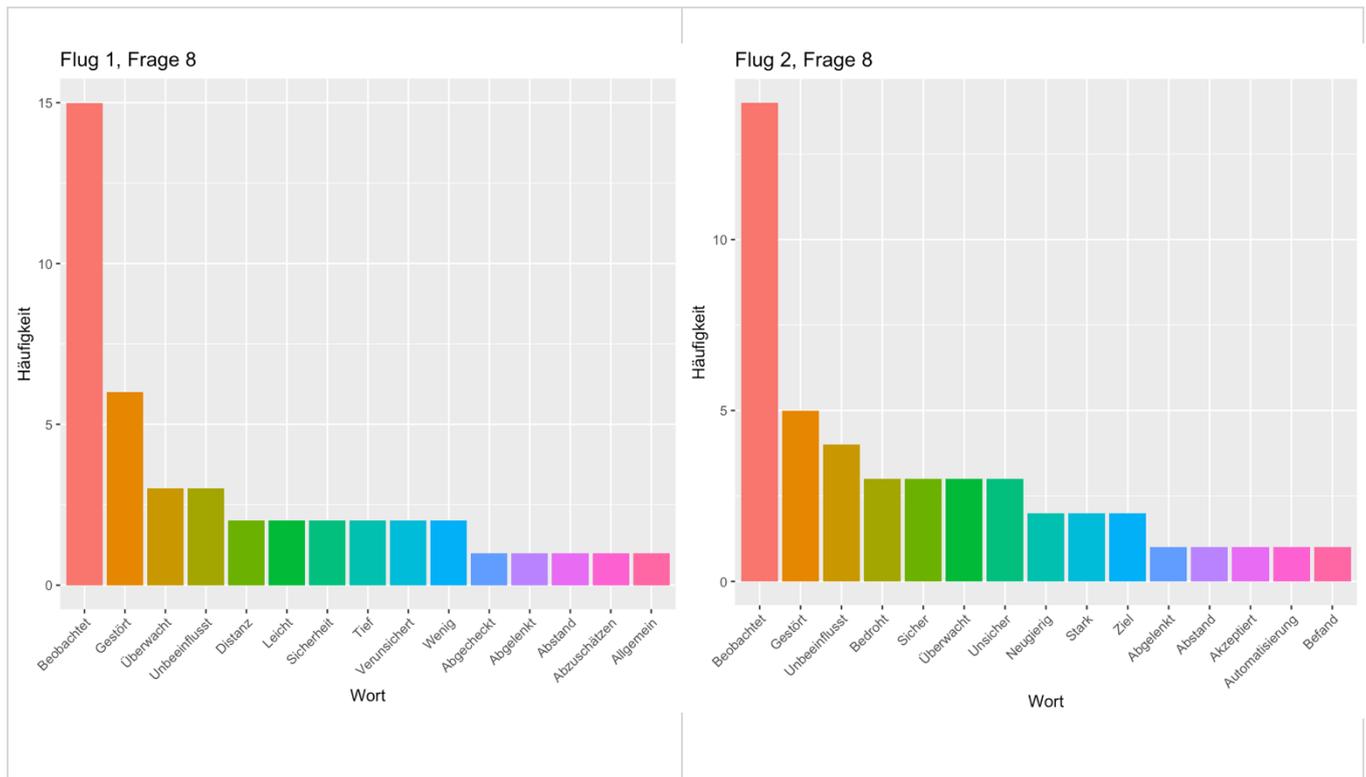


Abbildung 31: Häufigste Begriffe zur Frage "Wie haben Sie sich durch die Anwesenheit der Drohne gefühlt?"

Wie hier zu sehen ist, bestehen keine signifikanten Unterschiede darin, wie die Drohne auf die Empfindung der Teilnehmer gewirkt hat. Bei beiden Varianten ist eindeutig zu sehen, dass der Begriff «beobachtet» mit weitem Abstand am häufigsten genannt wurde.

Die Frage nach der bevorzugten Variante («Welche der beiden Varianten war angenehmer?») zeigt sich eine leichte Präferenz für Flug 2 («robotische» Bewegungsmuster), welcher von 18 Probanden bevorzugt wurde, während 12 Probanden Flug 1 bevorzugten.

8.3.3 Erscheinungsbild

8.3.3.1 Versuchsaufbau

Es wurde erprobt, welche Aspekte des Aussehens einer Drohne (z.B. Grösse, Farbe, Beleuchtung, Ausrüstung, etc.) die subjektive Wahrnehmung einer Drohne durch die Bevölkerung beeinflussen. Dazu wurden verschiedene Drohnen in demselben, vorprogrammierten Flugmuster gezeigt. Dieses entspricht

Flug 1 aus dem vorhergehenden Experiment (siehe Tabelle 9). Bei der anschließenden Befragung der Probanden standen folgende Kernfragen im Zentrum:

- 1) Welche Faktoren des Erscheinungsbilds einer Drohne beeinflussen deren Wahrnehmung durch Dritte? Inwiefern?
- 2) Durch welche visuellen Faktoren kann das Vertrauen in Polizeidrohnen erhöht werden?
- 3) Wie beeinflusst das Erscheinungsbild von Polizeidrohnen das «Bild des Staates»?

Zur Beantwortung wurde eine Reihe von Flügen gemäss folgender Abbildung durchgeführt, zu denen die Probanden im Anschluss befragt wurden.

Nr.	Drohne	Bild
1	Mavic 2 Pro (Polizei-Muster)	
2	Mavic 2 Enterprise Advanced	
3	Matrice M210	

4	Matrice M210 (Scheinwerfer)	
5	Matrice M210 (Lautsprecher)	

Tabelle 10: Flüge zum Erscheinungsbild (Bildquellen: Eigene Aufnahme, DJI, 2020a, DJI, 2021b & remotevision.ch)

Im Anschluss an jeden der Flüge mussten die Probanden folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (*trifft gar nicht zu*) bis 5 (*trifft völlig zu*) bewerten:

- 1) Ich erkenne, wozu die Drohne dient.
- 2) Die Drohne wirkt professionell.
- 3) Die Drohne wirkt bedrohlich.
- 4) Die Drohne wirkt sicher/zuverlässig.

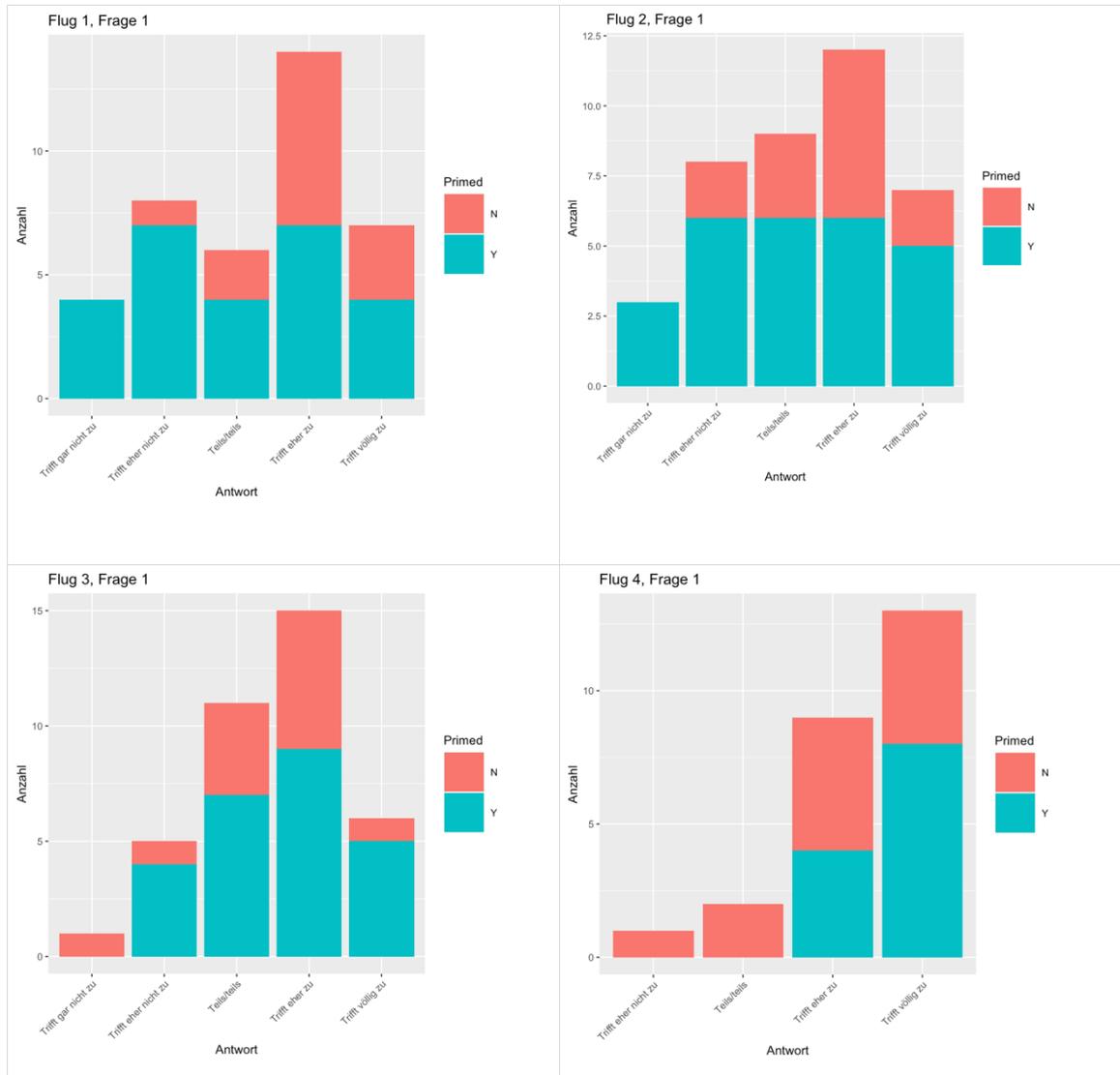
Zudem wurden folgende offenen Fragen gestellt:

- 5) Fänden Sie es gut, wenn die Polizei diese Drohne einsetzt?
- 6) Weshalb/weshalb nicht?

8.3.3.2 Resultate

Bezüglich des Zwecks einer Drohne («*Ich erkenne, wozu die Drohne dient.*») zeigen sich nur geringe Unterschiede zwischen den getesteten Drohnenmodellen. Kommt jedoch sichtbare Ausrüstung wie ein Suchscheinwerfer oder ein Megafon hinzu (Flüge 4 und 5), zeigt sich eine klare Verschiebung dahingehend, dass Probanden den Zweck der Drohne eindeutig erkennen können. Hierbei ist an-

zumerken, dass nur der sichtbare Aspekt der Ausrüstung dazu bereits ausreichend war – so war der Lautsprecher bei Flug 5 nicht eingeschaltet, und wurde daher nur aufgrund seines Aussehens beurteilt.



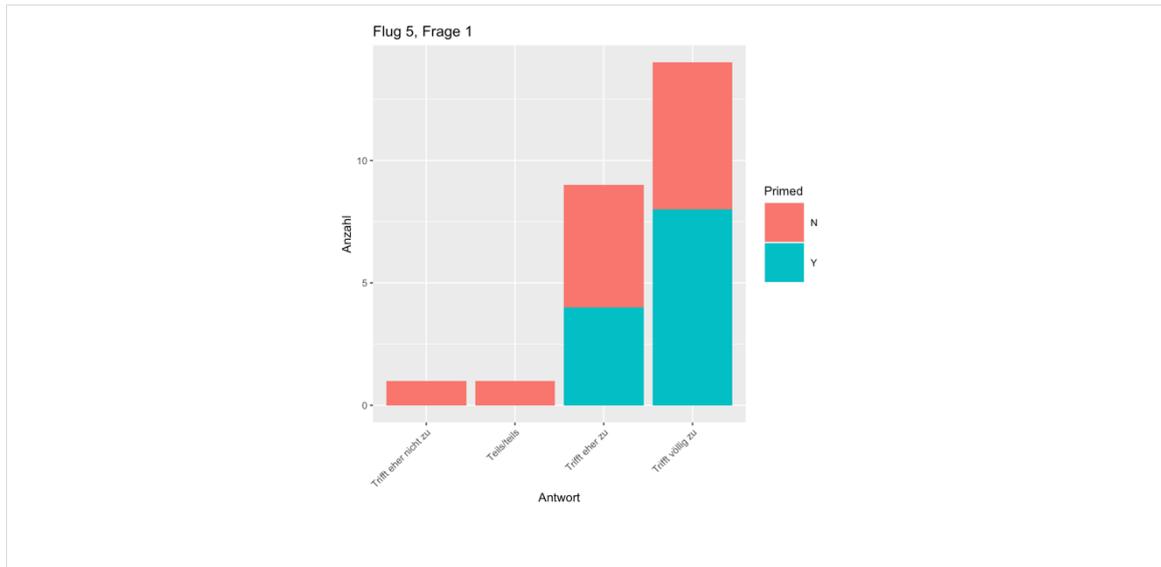


Abbildung 32: Antwortverteilung "Ich erkenne, wozu die Drohne dient."

Die Professionalität der eingesetzten Drohnen («Die Drohne wirkt professionell.»), und die subjektive Sicherheit («Die Drohne wirkt sicher/zuverlässig.») werden grundsätzlich hoch beurteilt, und fallen bei der grösseren Drohne (Flüge 3-5) noch etwas höher aus. Bemerkenswert ist hierbei lediglich der Vergleich zwischen der kleineren getesteten Drohne (Mavic 2) in Polizei- und in Nicht-Polizeifarbe: Während beim Modell in Polizeifarbe (Flug 1) 13 Probanden die Professionalität als neutral oder negativ einschätzen, wird diese bei der grauen Variante (Flug 2) lediglich von 8 Probanden als neutral beurteilt, während die restlichen 30 Probanden die Drohne als eher professionell oder professionell beurteilen.

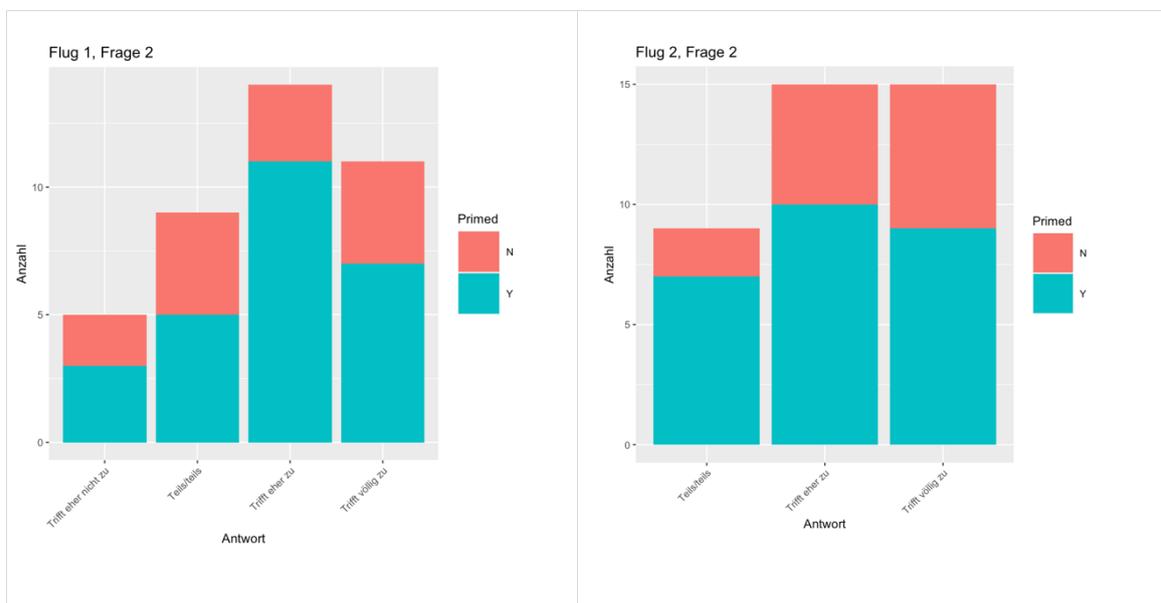


Abbildung 33: Antwortverteilung "Die Drohne wirkt professionell."

Bezüglich der Akzeptanz der Drohnenmodelle («Fänden Sie es gut, wenn die Polizei diese Drohne einsetzt?») zeigt sich, dass alle getesteten Varianten auf eine hohe Akzeptanz treffen. Es zeigt sich hier erneut, dass sichtbare Ausrüstung an der Drohne die Wahrnehmung des Einsatzzwecks und somit der Akzeptanz klar erhöhen; insbesondere war dies beim ausgerüsteten Lautsprecher der Fall (Flug 5), wie die untenstehende Abbildung zeigt.

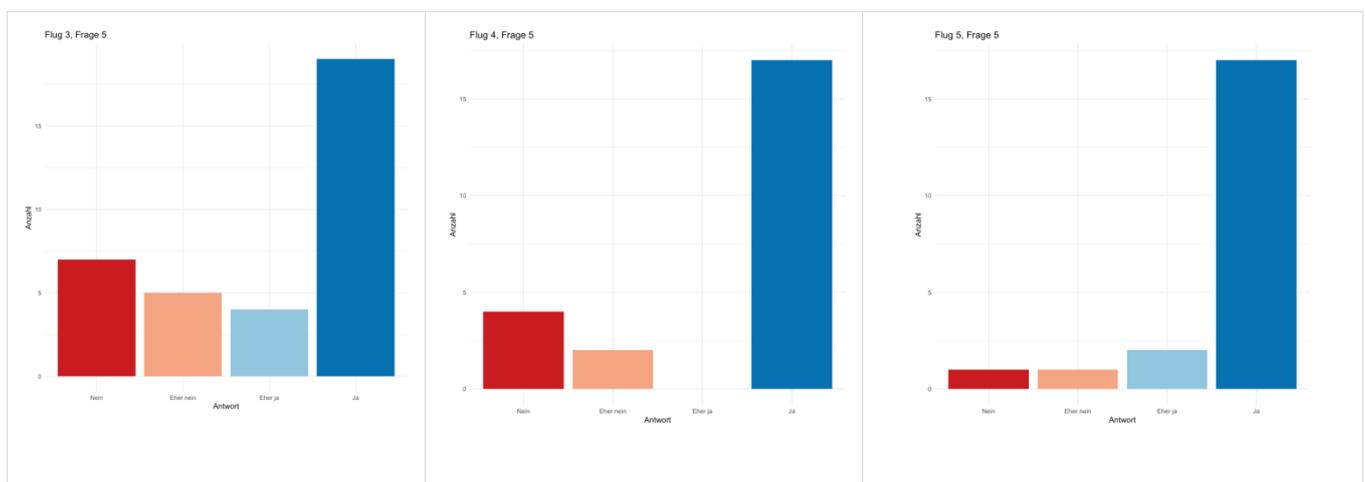


Abbildung 34: Antwortverteilung "Fänden Sie es gut, wenn die Polizei diese Drohne einsetzt?"

8.3.4 Kommunikation und Erkennbarkeit

8.3.4.1 Versuchsaufbau

Es wurde erprobt, ob eine Drohne durch Kommunikation und klare Erkennbarkeit als Polizeidrohne einen Beruhigungseffekt auf Dritte an einem Schadenplatz ausüben kann. Zu diesem Zweck wurden zwei mögliche Variationen einer kommunizierenden, erkennbaren Drohne verglichen. Bei der dazugehörigen Befragung standen folgende Fragestellungen im Zentrum:

- 1) Wird eine oder werden beide Varianten von der Bevölkerung als wünschenswert angesehen?
- 2) Kann durch unidirektionale Kommunikation ein Beruhigungseffekt erzielt werden?

Zur Beantwortung dieser Fragestellungen wurden zwei Flüge gemäss folgenden Flugplänen durchgeführt:

Nr.	Drohne	Beschreibung
1	Mavic 2 Enterprise Advanced	Drohne fliegt mit Martinshorn an, spielt vor Ort Durchsage ab, fliegt mit Martinshorn wieder weg
2	Mavic 2 Enterprise Advanced	Drohne spielt kontinuierlich Durchsage ab

Tabelle 11: Flüge zur Kommunikation

Der Wortlaut der erprobten Durchsage war dabei: *«Dies ist eine Drohne der Stadtpolizei Zürich. Bitte verhalten Sie sich ruhig, und bleiben Sie, wo Sie sind.»*. Ziel war dabei, die Drohne direkt als zur Polizei zugehörig zu identifizieren, ohne die Situation in den Kontext einer bestimmten Gefahrensituation zu setzen.

Diese Flüge wurden komplett autonom anhand vorprogrammierter Wegpunkte durchgeführt, da so sichergestellt werden konnte, dass jeder Probandengruppe exakt derselbe Flug gezeigt wurde. Beide Flüge wurden mit der DJI Mavic 2

Enterprise Advanced durchgeführt; der Ablauf entsprach dabei Flugplan 2 gemäss Tabelle 9.

Im Anschluss an jeden der Flüge mussten die Probanden folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (*trifft gar nicht zu*) bis 5 (*trifft völlig zu*) bewerten:

- 1) Ich konnte abschätzen, was die Funktion der Drohne war.
- 2) Die Drohne wirkte beruhigend.
- 3) Die Drohne wirkte beängstigend.
- 4) Ich hatte das Gefühl, dass die Drohne mich versteht.
- 5) Ich denke, ein Mensch hat die Drohne gesteuert.
- 6) Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt.

Im Anschluss an den zweiten Flug wurden ausserdem folgende offenen Fragen gestellt:

- 7) Welche der beiden Varianten fanden Sie besser? Weshalb?
- 8) Haben Sie die Absichten der Drohnen verstanden? Weshalb/weshalb nicht?
- 9) Hat eine/beide der Varianten beruhigend gewirkt? Weshalb?
- 10) Hat eine der beiden Varianten Sie gestört? Weshalb?

8.3.4.2 Resultate

Es zeigte sich, dass das Hinzufügen von Kommunikationsmitteln einer Drohne die Einschätzung deren Funktion stark beeinträchtigt: Bei beiden Varianten sagten rund 90% der Probanden aus, die Funktion der Drohne völlig oder eher einschätzen zu können, während die verbleibenden 10% aussagten, diesen zumindest teilweise einschätzen zu können; dies, obwohl die Drohne in ihrer Durchsage nie explizit einen Einsatzzweck erwähnt.

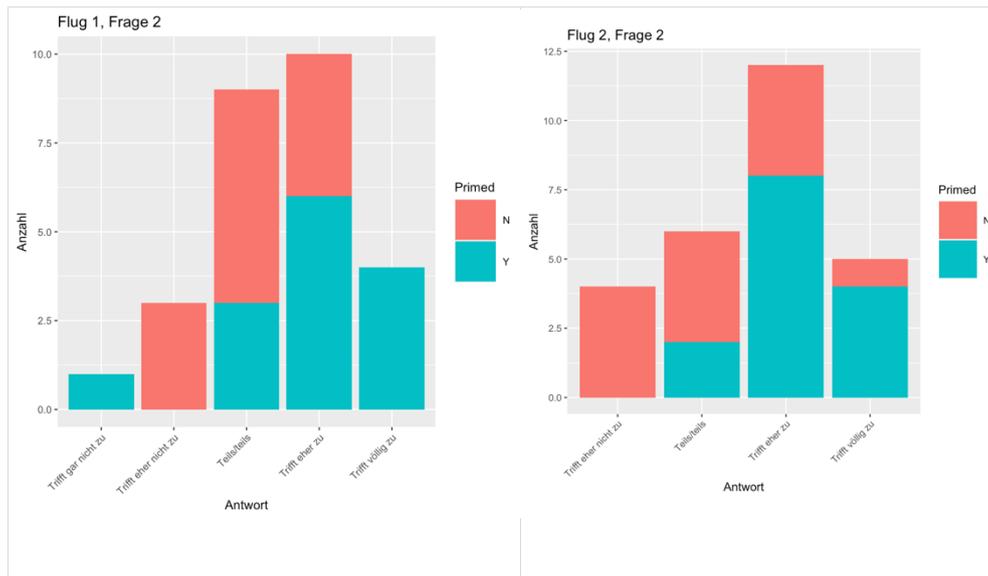


Abbildung 35: Antwortverteilung "Die Drohne wirkte beruhigend."

Wie die obige Abbildung zeigt, erreichte die Variante ohne Martinshorn (Flug 2) einen etwas höheren Beruhigungseffekt als diejenige mit Martinshorn (Flug 1). Auffällig ist hier auch, dass bei beiden Varianten Probanden, welche zuvor einen Gesamteinsatz erlebt hatten, den Beruhigungseffekt höher einstufen als solche, die keinen Gesamteinsatz erlebt hatten.

Insgesamt zeigte sich ein relativ ausgeglichenes Bild bezüglich Präferenz, mit einer leichten Tendenz zugunsten der Variante ohne Martinshorn (Flug 2). Diese wurde von 16 Probanden als besser beurteilt, während 13 Probanden Variante 1 bevorzugten. Ebenfalls wurde Variante 1 aufgrund des Martinshorns deutlich öfter als störend beurteilt; insgesamt beurteilen die Probanden beide Varianten allerdings als eher nicht störend.

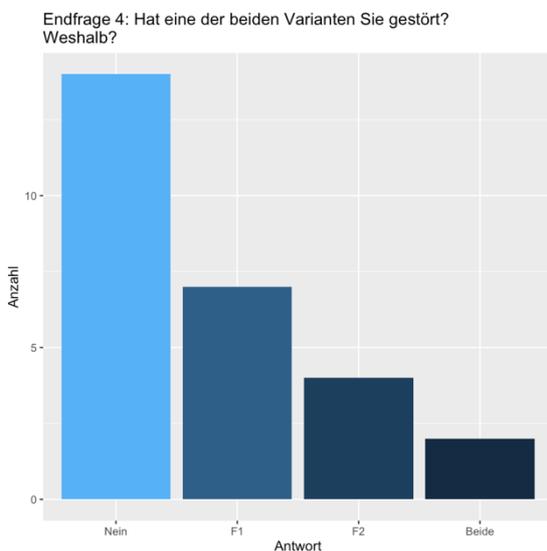


Abbildung 36: Antwortverteilung "Hat eine der beiden Varianten Sie gestört?"

9 Phase III - Gesamtszenarien

9.1 Ziele

In der dritten Phase der Versuchsszenarien liegt der Fokus darauf, zu erproben, wie in einem kompletten Versuchsablauf mit allen relevanten Stakeholdern der Ablauf zum Drohneneinsatz effizient funktioniert, und wie dieser durch ausstehende Beobachter wahrgenommen wird. Dazu wurde in mehreren Iterationen ein kompletter Realeinsatz simuliert, zu dem die Probanden sowie die beteiligten Einsatzkräfte der Polizei im Anschluss befragt wurden.

Ziel der Gesamtszenarien ist primär die Beantwortung folgender Fragestellungen:

- 1) Wie erleben Teilnehmer den polizeilichen Einsatz von Drohnen?
- 2) Wie wird das subjektive Sicherheitsgefühl der Beobachter durch Drohnen beeinflusst?
- 3) Ist der Gesamtablauf aus polizeilicher Sicht effizient und bieten Drohnen als Einsatzmittel einen Mehrwert?
- 4) Welche Aspekte müssen weitergehend erforscht werden, um eine erfolgreiche Integration von Drohnen als Einsatzmittel zu ermöglichen?

Die folgenden Kapitel erläutern dazu den grundlegenden Versuchsaufbau, die dabei getroffenen Sicherheitsvorkehrungen, sowie die konkrete Durchführung der Gesamtszenarien und deren Resultate.

9.2 Örtlichkeit und Sicherheitsvorkehrungen

Als Testgelände wurde analog zu Phase II das Ausbildungszentrum Riedikon gewählt, und sämtliche Flüge wurden unter denselben Sicherheitsvoraussetzungen durchgeführt. Da bei den Gesamtszenario-Versuchen zusätzlich eine längere Anflugstrecke notwendig war, wurde hier eine auf einem Aussichtsturm in der Mitte des Testgeländes aufgestellte und per Funk mit den Piloten verbundene Person als «Spotter» eingesetzt, um den erforderlichen permanenten

ten Sichtkontakt zur Drohne sicherzustellen. Die untenstehende Abbildung zeigt dabei die Position der Piloten (rot markiert), sowie die Distanz zum Testgelände (blau markiert). Wie dabei zu sehen ist, wurde hier besonders darauf geachtet, dass auf dem Flug zum Testgelände nur unbesiedeltes Gebiet überflogen wird, um die Gefährdung Unbeteiligter zu minimieren. Die Anflugstrecke betrug ca. 820m; dies entspricht bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 60km/h einer Flugzeit von ca. 50s.



Abbildung 37: Anflugstrecke Gesamtszenarien

Eine höhere Anflugdistanz war aufgrund der Lage des Geländes und unter Berücksichtigung der Sicherheitsvorkehrungen nicht möglich, allerdings ist aufgrund des Anflugs über die gewählte Strecke eine Extrapolation der Anflugzeit auf weitere Anflugdistanzen möglich.

Des Weiteren wurde ebenfalls aus Sicherheitsgründen auf einen autonomen Anflug verzichtet, und sämtliche Flüge im Rahmen dieses Experimentes wurden manuell durchgeführt. Da alle Aspekte betreffend Autonomie separat er-

probt wurden, können aber dennoch Rückschlüsse für einen (teil-)autonomen Einsatz gezogen werden.

Aufgrund der Feststellungen vorhergehender Experimente sowie des Bedarfs nach grösstmöglichen technischen Möglichkeiten wurde beschlossen, alle Experimente mit der DJI Matrice M210 V2 durchzuführen. Die Drohne war dabei jeweils mit einer Zoom-Kamera (DJI Z30) und einer Wärmebild-Kamera (DJI XT2) ausgerüstet, welche bei Bedarf zugeschaltet wurde.

9.3 Versuchsaufbau und -ablauf

Um den Einsatz für alle Beteiligten möglichst realitätsnah zu simulieren, wurde versucht, diesen im Rahmen der Möglichkeiten des Versuchsgeländes so authentisch wie möglich nachzustellen. Die untenstehende Abbildung zeigt dabei den Versuchsaufbau auf dem Gelände des Ausbildungszentrums Riedikon.

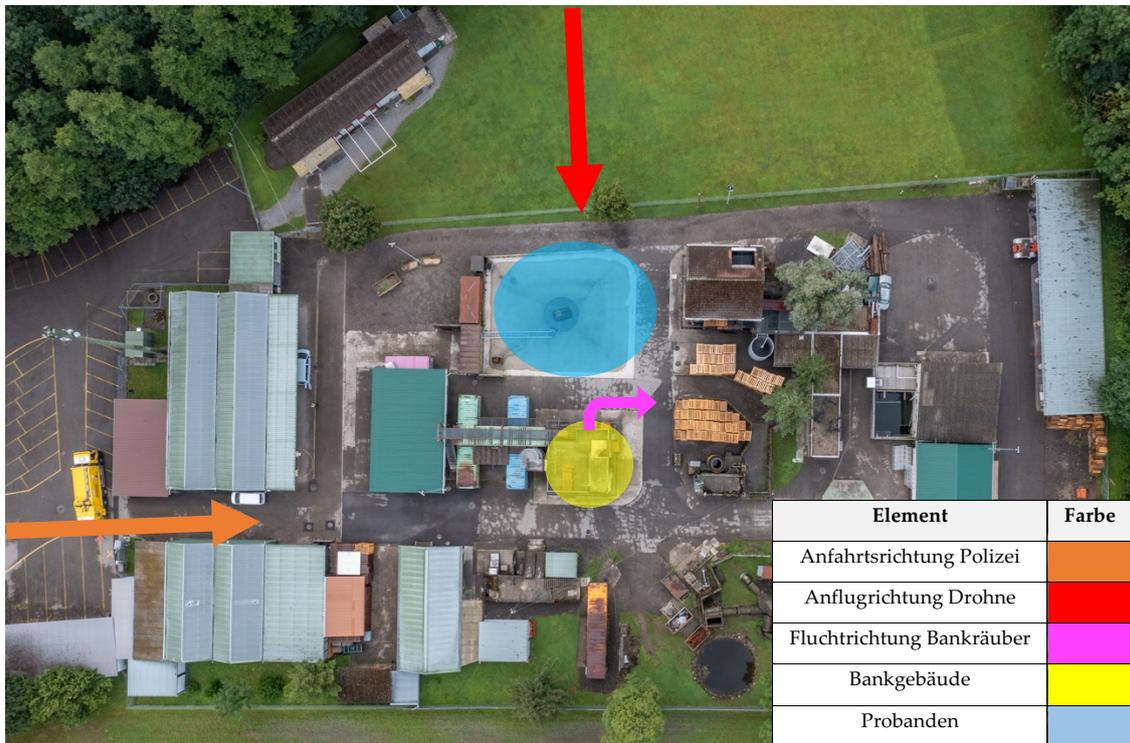


Abbildung 38: Versuchsaufbau Gesamtszenarien

Um den Ablauf des in den Experimenten simulierten Einsatzes möglichst realitätsnah zu gestalten, wurde darauf geachtet, die Funktion aller involvierter Par-

teien möglichst realitätsnah zu gestalten. Die folgende Tabelle zeigt dabei alle beteiligten Parteien, sowie deren jeweilige Funktionen und Ausgangspositionen.

Rolle	Beschreibung	Position
Bankräuber	Alarm auslösen, Flucht vom Tatort	Bankgebäude
Regie	Koordinieren des Einsatzes, Absetzen des «Notrufs» bei der Einsatzzentrale	Aussichtsturm neben Bankgebäude
Einsatzzentrale (EZ)	Aufnehmen des «Notrufs», aufbieten und Koordinieren der Einsatzkräfte	Stadtpolizei Zürich, Regionalwache City
Drohnenpiloten	Fliegen der Drohne gemäss Aufgebot und Anweisungen der Einsatzzentrale	Gemäss Abbildung 37
Streife #1 (SOKO)	Erste Einsatzkräfte vor Ort	Eingangsbildungszentrum
Streife #2 (IE)	Zweite Einsatzkräfte vor Ort	Eingangsbildungszentrum

Tabelle 12: Rollenverteilung Gesamtszenarien

Wie bereits erwähnt, fanden im Zuge der Gesamtszenarien-Versuche keine autonomen Drohnenflüge statt. Stattdessen wurde hierbei das *Milestone*-System zur Videoübertragung in die Einsatzzentrale genutzt; der Polizei-Mitarbeiter in der Einsatzzentrale verfügte dadurch permanent über Live-Videobild von der Drohne, und konnte diese über Funk koordinieren. Die Drohnenpiloten selbst setzten bei den Einsätzen keine Funksprüche ab, sondern folgten lediglich den Anweisungen der Einsatzzentrale.

Die beteiligten Streifen simulierten eine realistische Anfahrtsdauer, indem sie nach Erhalt des Aufgebots durch die Einsatzzentrale eine vordefinierte Zeitspanne (ca. 2 Minuten für Streife #1, ca. 4 Minuten für Streife #2) abwarteten, bevor sie das Testgelände betraten. An einzelnen Tests war ausserdem eine dritte Streife beteiligt, die jedoch keine zusätzliche Funktion übernahm, sondern die Funktion von Streife #2 ergänzte.

Um aus Sicht der Probanden den Einsatz möglichst realitätsnah zu gestalten, und die Probanden nicht als «abwartende Beobachter» vor Ort einzusetzen, erhielten sie jeweils eine kleine, vordefinierte Aufgabe zur Beschäftigung (z.B. «Zeichnen Sie eine Skizze des Bankgebäudes», «Diskutieren Sie mit anderen Probanden über News vom Vortag», etc.).

Es wurden insgesamt vier Durchläufe des Gesamtszenarios durchgeführt, die jeweils gemäss nachfolgendem Schema abliefen. Die Zeitangaben beziehen sich hierbei auf den ungefähren Zeitpunkt nach Experimentbeginn T (in Minuten). Die Gesamtdauer des Versuchs variierte jeweils nach Eintreffen der Einsatzkräfte, je nach Fluchtrichtung und Sichtbarkeit des Täters durch die Drohne.

#	Zeit (in min)	Beschreibung
1	T	Probanden verteilen sich auf Gelände, gehen ihren Aufgaben nach
2	$T+1:00$	Akustischer Alarm beim Bankgebäude wird ausgelöst, Regie setzt «Notruf» bei Einsatzzentrale ab
3	$T+1:20$	Einsatzzentrale bietet Einsatzkräfte und Drohne auf
4	$T+2:00$	Drohne trifft am Tatort ein, Täter verlässt Bankgebäude und flüchtet, Drohne verfolgt Täter
5	$T+3:00$	Streife #1 trifft auf dem Gelände ein, sichert Platz
6	$T+5:00$	Streife #2 trifft auf dem Gelände ein, sichert Gebäude, verfolgt Täter
7	$T+7:00$ (variabel)	Täter wird gestellt und verhaftet

Tabelle 13: Ablaufschema Gesamtszenarien

9.4 Iterationen

Das zuvor beschriebene Gesamtszenario wurde insgesamt viermal durchgeführt; bei jedem Durchgang war jeweils eine andere Gruppe von Probanden anwesend, ausserdem wurden jeweils andere «Bankräuber»-Testpersonen eingesetzt, um sicherzustellen, dass die flüchtende Person bei jedem Durchgang

erneut korrekt identifiziert und bezüglich des Signalements beschrieben werden muss. Ebenso waren nicht bei jedem Versuch dieselben Einsatzkräfte der Polizei im Einsatz, wobei es jedoch gewisse personelle Überschneidungen zwischen den Tests gab.

Die folgende Tabelle zeigt in chronologischer Reihenfolge jeweils den Zeitslot sowie die grundlegenden Details zu jeder durchgeführten Iteration des Gesamtszenarios; die Gründe für jeweilige Variationen zwischen Versuchsiterationen werden in Kapitel 9.5.1 ausführlicher erläutert.

#	Zeit	Beschreibung
1	Tag 1, Vormittag	<ul style="list-style-type: none"> - Ein flüchtender Täter - Täter verlässt Bankgebäude ca. 1min 30s nach Auslösen des Alarms - Täter flüchtet und versteckt sich ausserhalb des Testgeländes
2	Tag 1, Nachmittag	<ul style="list-style-type: none"> - Ein flüchtender Täter - Täter verlässt Bankgebäude ca. 2min nach Auslösen des Alarms - Täter flüchtet und versteckt sich ausserhalb des Testgeländes
3	Tag 2, Vormittag	<ul style="list-style-type: none"> - Zwei flüchtende Täter, in unterschiedliche Richtungen - Täter verlassen Bankgebäude ca. 2min nach Auslösen des Alarms - Täter flüchten und verstecken sich innerhalb des Testgeländes
4	Tag 2, Nachmittag	<ul style="list-style-type: none"> - Ein flüchtender Täter - Täter verlässt Bankgebäude ca. 2min nach

		Auslösen des Alarms - Täter flüchtet und versteckt sich innerhalb des Testgeländes
--	--	-------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 14: Iterationen Gesamtszenario

Im Anschluss an das Gesamtszenario mussten die Probanden folgende Aussagen auf einer Skala von 1 (*trifft gar nicht zu*) bis 5 (*trifft völlig zu*) bewerten:

- 1) Ich konnte erkennen, was die Funktion der Drohne war.
- 2) Ich habe die Drohne problemlos bemerkt.
- 3) Ich habe mich durch die Drohne sicherer gefühlt.
- 4) Ich fühlte mich durch die Drohne gestört.
- 5) Ich hätte gerne die Möglichkeit gehabt, mit der Drohne zu kommunizieren.
- 6) Die Drohne war sympathisch.
- 7) Ich denke, ein Mensch hat die Drohne kontrolliert.
- 8) Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt.

Zudem wurden folgende offenen Fragen gestellt:

- 9) Was hat die Drohne gemacht, was war ihr Ziel?
- 10) Denken Sie, die Drohne hat dieses Ziel erreicht? Weshalb/weshalb nicht?
- 11) Hat der Einsatz der Drohne ihre Wahrnehmung des Staats / der Polizei beeinflusst? Wenn ja, inwiefern?
- 12) Hätte die Drohne etwas anders machen sollen? Wenn ja, was?

9.5 Resultate

Dieses Kapitel erläutert zuerst aus polizeilicher Sicht, dann aus Sicht der Probanden, die grundlegenden Resultate und Feststellungen aus den durchgeführten Gesamtszenarien. Diese Resultate werden danach im folgenden Kapitel (Kapitel 10, «*Diskussion und Schlussfolgerungen*») ausgewertet und analysiert.

9.5.1 Polizeiliche Erkenntnisse

Während der Durchführung der Gesamtszenarien stellten sich bereits erste Erkenntnisse ein, welche für die Durchführung der weiteren Szenarien hilfreich waren. Daher zeigt die folgende Tabelle aus polizeilicher Sicht, welche Herausforderungen sich gezeigt hatten, und welche unmittelbaren Feststellungen aus den jeweiligen Iterationen des Gesamtszenarios für die weiteren Versuche gezogen wurden.

#	Feststellungen
1	<ul style="list-style-type: none"> - Die Drohne wurde erst nach den Streifenwagen durch die Einsatzzentrale (EZ) aufgeboden; dies führte dazu, dass sie das Testgelände erst erreichte, nachdem der Täter die Bank bereits verlassen hatte. - Trotz Live-Luftbild war es nicht möglich, den Täter erneut zu lokalisieren. Um den Experimentablauf trotzdem noch nützlich zu gestalten, wurde der Täter instruiert, sich gegenüber der Drohne bemerkbar zu machen, wonach diese ihn erfolgreich erfassen und verfolgen konnte, und der Täter im Anschluss durch Streife #2 verhaftet werden konnte. - Seitens der Einsatzkräfte wurde bemerkt, dass das kontinuierliche Eintreffen von Informationen den Funkverkehr sehr stark belastete.
2	<ul style="list-style-type: none"> - Die Drohne wurde nun als erstes Einsatzmittel aufgeboden; der Täter konnte beim Verlassen des Gebäudes gesichtet und in Folge nach Verlassen des Geländes durch Streife #2 zeitnah verhaftet werden. - Durch bessere Koordination darüber, welche Informationen über Funk übermittelt werden, konnte die Belastung des Funkverkehrs verringert werden.
3	<ul style="list-style-type: none"> - Da hier zwei Täter auf der Flucht waren, konnte die Drohne, welche knapp rechtzeitig vor Ort war, nur einen davon erfassen. Nach kurzer Zeit wurde dieser aus dem Blickfeld verloren, konnte jedoch we-

	<p>nig später wieder geortet und zeitnah verhaftet werden.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nachdem der zweite Täter sich ausserhalb des Sichtfelds der Drohne versteckt hatte, konnte diese ihn nicht mehr auffinden; der Täter wurde erst später durch die Einsatzkräfte vor Ort gestellt, ohne dass die Drohne dazu etwas beitragen konnte.
4	<ul style="list-style-type: none"> - Die Drohne war rechtzeitig vor Ort und konnte die Fluchtbewegungen des Täters verfolgen. Als dieser sich auf einem Gebäude unterhalb eines Baums versteckte, konnte er durch die Luftaufnahmen nicht mehr gesichtet werden. - Als der Täter sich bewegte, wurde er sowohl durch Drohne als auch Einsatzkräfte am Boden gesichert; der Täter flüchtete, und dank einem Hinweis der EZ basierend auf den Luftaufnahmen («Er muss unter dieses Dach geflüchtet sein») konnte er im Anschluss durch die Einsatzkräfte gestellt werden.

Tabelle 15: Unmittelbare Feststellungen aus Gesamtszenarien

Die obenstehende Tabelle ist nicht als vollumfängliche Sammlung der durch die Gesamtszenarien gewonnenen Erkenntnisse ab, sondern soll primär dazu dienen, einen Überblick über die nicht explizit geplanten Unterschiede zwischen den durchgeführten Iterationen zu bieten.

Durch Diskussion und Befragungen im Anschluss an die Gesamtszenarien konnte festgestellt werden, dass durch das Einsatzmittel Drohne sowohl für die Einsatzzentrale als auch für die Einsatzkräfte einen Mehrwert darstellte; in allen Fällen konnte durch die gute Zusammenarbeit von Einsatzzentrale, Piloten und Einsatzkräften an der Front der Täter gestellt werden. Es zeigte sich, dass insbesondere bezüglich der Kommunikation zwischen Einsatzkräften und Einsatzzentrale bereits innerhalb der durchgeführten Experimenten und ohne formalisierte Vorgaben klare Verbesserungen erzielt werden konnten – während bei den ersten Iterationen der Funkverkehr für alle Parteien eine Herausforderung

darstellte, war bereits bei der dritten Iteration eine routiniertere, koordiniertere Kommunikation zwischen EZ und Einsatzkräften bemerkbar.

In Kapitel 10 werden in Folge die aus den Gesamtszenarien und aus vorherigen Experimenten gewonnenen Erkenntnisse aus Sicht aller Stakeholder genauer ausgewertet.

9.5.2 Umfrageresultate

Im Kontext des simulierten Gesamteinsatzes zeigte sich, dass Probanden so eher das Gefühl hatten, die Funktion der Drohne einschätzen zu können; die folgende Abbildung zeigt dazu die Antwortverteilung. Es ist erkennbar, dass die Mehrheit der Probanden aussagt, den Zweck der Drohne eindeutig oder zumindest eher eindeutig erkannt zu haben.

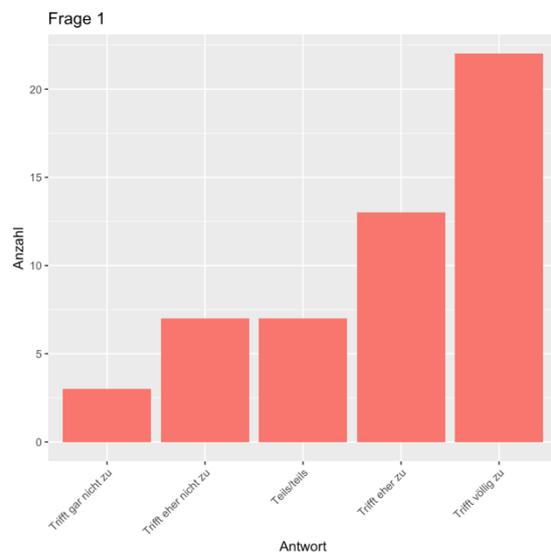


Abbildung 39: Antwortverteilung "Ich konnte erkennen, was die Funktion der Drohne war."

Die folgende Abbildung zeigt zur dazugehörigen offenen Frage 9, «*Was hat die Drohne gemacht, was war ihr Ziel?*» die am häufigsten genannten Begriffe. Dabei zeigt sich klar, dass die Mehrheit der Probanden der Drohne eine observierende, überwachende, und beobachtende Rolle zuordnen («*überwachen*», «*beobachten*», «*Überblick*»). Ebenfalls relativ häufig fällt der Begriff «*verfolgen*», der sich auf die Verfolgung des Täters durch die Drohne bezieht. Entgegen der gängigen Wahrnehmung von Drohnen als filmende Akteure fallen hier die Begriffe «*fil*

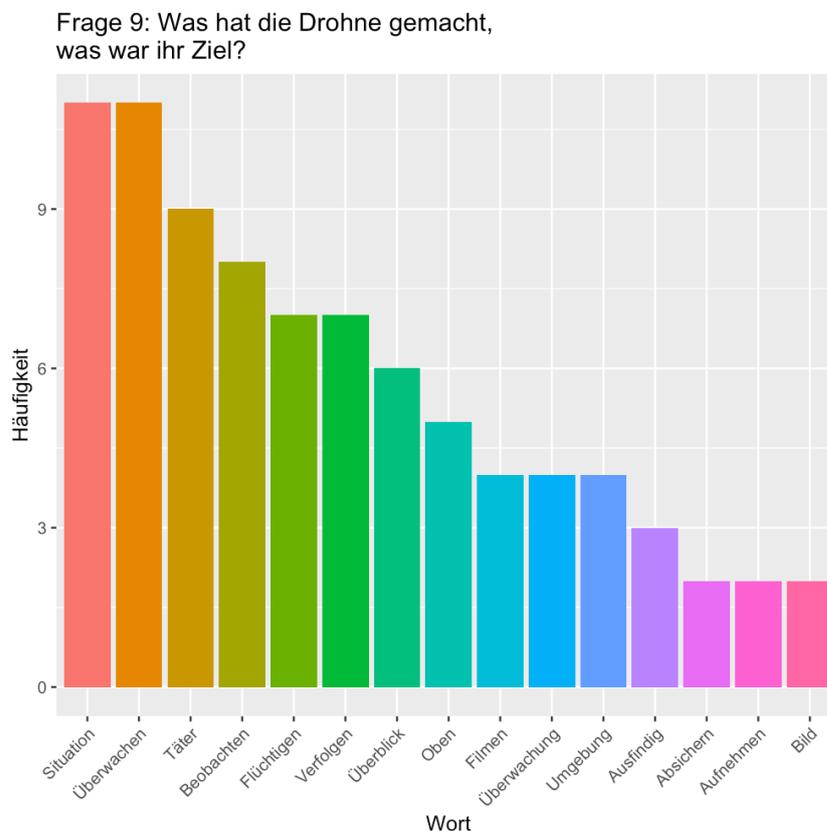


Abbildung 40: Häufigste Begriffe zur Frage "Was hat die Drohne gemacht, was war ihr Ziel?"

men» und «*aufnehmen*» nur relativ selten; dies weist darauf hin, dass die Probanden die Drohne tendenziell eher als «Auge am Himmel» statt als «Fliegende Überwachungskamera» wahrgenommen haben.

Bezüglich des subjektiven Sicherheitsgefühls zeigt sich ein stark durchmisches Bild; es lässt sich jedoch feststellen, dass die Probanden tendenziell keinen positiven Einfluss der Drohne auf ihr Sicherheitsgefühl bemerkten.

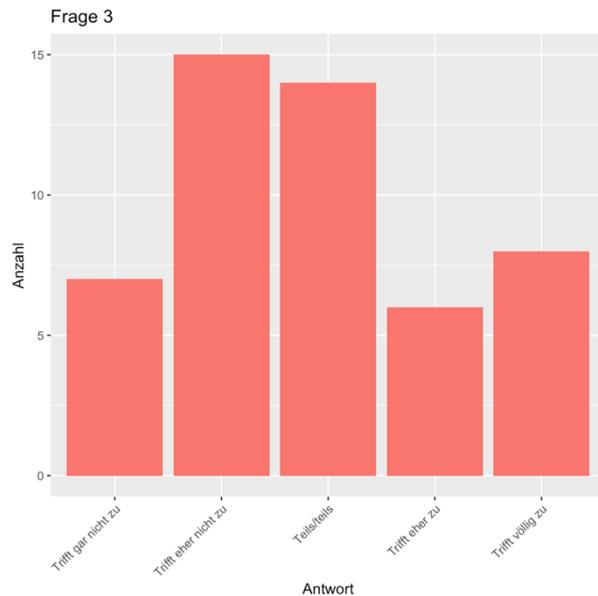


Abbildung 41: Antwortverteilung "Ich habe mich durch die Drohne sicherer gefühlt."

Ebenso wurden die Probanden dazu befragt, ob sie die Drohne als durch einen Menschen kontrolliert, bzw. als autonom agierend wahrgenommen haben. Wie die folgende Abbildung aufzeigt, waren die Probanden relativ einstimmig der Ansicht, dass die Drohne zumindest grösstenteils durch einen Menschen kontrolliert wurde; im Fall der Gesamtszenarien war dies effektiv der Fall.

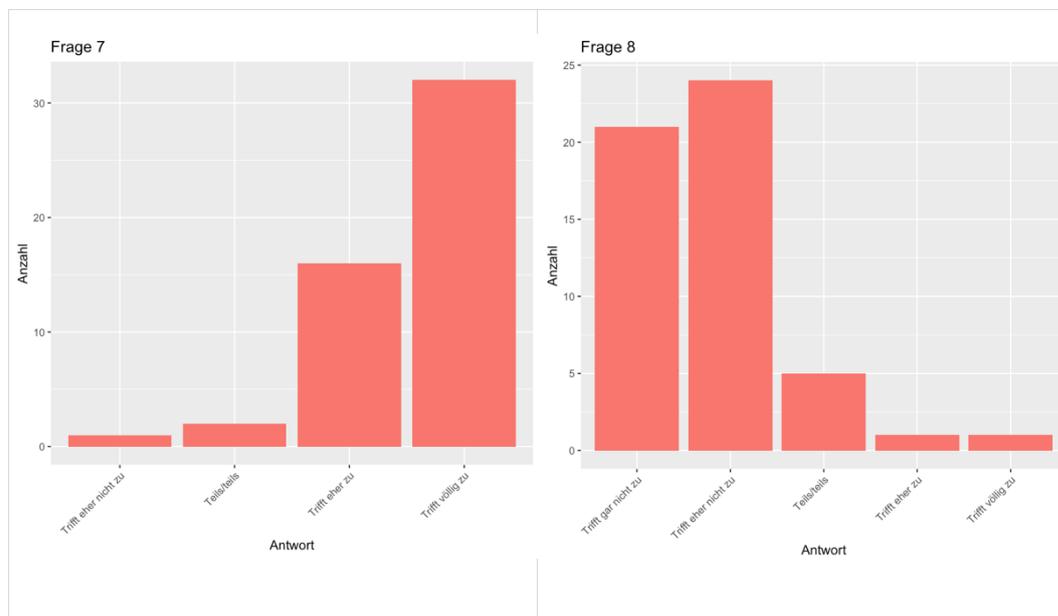


Abbildung 42: Antwortverteilungen "Ich denke ein Mensch hat die Drohne kontrolliert." und "Ich denke, die Drohne hat selbstständig gehandelt."

Auffällig war ausserdem, dass die klare Mehrheit der Probanden dachte, dass die Drohne das vermutete Ziel erreicht hatte; dies zeugt von einem relativ hohen Mass an Vertrauen in Drohnen als neues Einsatzmittel.

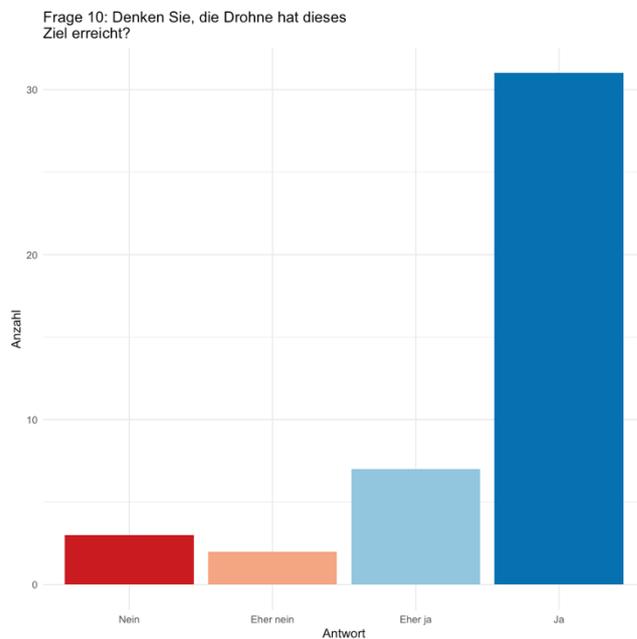


Abbildung 43: Antwortverteilung "Denken Sie, die Drohne hat dieses Ziel erreicht?"

Bezüglich der Frage, ob der Einsatz von Drohnen die Wahrnehmung des Staats/der Polizei beeinflusst hat, zeigt sich erneut ein zweigeteiltes Bild: während 27 Probanden dies bejahen, sagen 22 aus, dass der beobachtete Einsatz keinerlei Einfluss darauf hatte. Von denjenigen Probanden, deren Wahrnehmung durch den Einsatz beeinflusst wurden, sagen 19 aus, dass der Einfluss positiver Art war, während 4 den Einfluss als neutral beurteilen, und 4 durch den Einsatz ein negativeres Bild des Staats/der Polizei erhielten; die Begründung dafür war stets der Aspekt der Überwachung durch den Staat.

10 Diskussion und Schlussfolgerungen

Zweck dieses Kapitels ist es, die aus sämtlichen Versuchen und Befragungen gewonnenen Erkenntnisse und Informationen zu konsolidieren, und dadurch sowohl erste Rückschlüsse für einen möglichen zukünftigen Einsatz, als auch Forschungsfragen für die Zukunft der Thematik zu gewinnen. Zu diesem Zweck werden drei versuchsübergreifende Themen bzw. Fragestellungen definiert, welche aufgrund der aus allen Versuchsphasen gewonnenen Daten analysiert werden.

10.1 Einsatzszenario – unter welchen Bedingungen liefern Drohnen Mehrwert?

Es hat sich insbesondere in den erprobten Gesamtszenarien gezeigt, dass der Einsatz von Drohnen einen klaren Mehrwert liefern kann. Ob dieser Mehrwert effektiv erzielt werden kann, hängt jedoch von diversen Aspekten des konkreten Einsatzes ab.

Der dabei wohl wichtigste Aspekt ist, dass die Verarbeitung der umfangreichen Datenmenge, die eine Drohne fortlaufend generiert, effizient geschehen muss. Das bedeutet, dass die visuellen Informationen, die durch die Drohne bereitgestellt werden, in ihrer Verarbeitung keine zusätzliche Belastung für die Einsatzkräfte am Boden darstellen dürfen. Damit ist nicht nur zu verstehen, dass das Betrachten des Bildmaterials nicht primär bei den Einsatzkräften liegen sollte, sondern auch, dass die durch die Einsatzleitung bzw. Einsatzzentrale über Funk weitergegebenen Informationen bereits einer klaren Filterung unterliegen sollten. Werden zu viele, nicht unbedingt relevante Informationen via Funk weitergegeben, kann dies eine hohe Zusatzbelastung für die Einsatzkräfte vor Ort darstellen, und schlimmstenfalls sogar eine effektive Funkkommunikation verunmöglichen.

Ein weiterer zu beachtender Punkt ist die Verfügbarkeit des Live-Bildmaterials der Drohne; während die Beobachtung des Livebilds nicht den Einsatzkräften vor Ort obliegen sollte, kann es dennoch sehr hilfreich sein, ihnen den Zugriff auf das Livebild der Drohne zu ermöglichen. Gerade während der Anfahrt zu einem Tatort können so verfügbare Kapazitäten genutzt werden, um sich früh ein Bild vom Schadenplatz zu verschaffen; dadurch können die Stärken visueller Informationen genutzt werden, da so die Subjektivität einer via Funk weitergegebenen Ortsbeschreibung entfällt.

Der Grundstein dazu, dass eine Drohne im polizeilichen Einsatz Mehrwert liefern kann, ist, dass sie technisch reibungslos funktioniert. Hier hat sich gezeigt, dass – unter Berücksichtigung der aktuellen technischen Möglichkeiten – keine grösseren Stolpersteine auftraten, und somit die Grundlage für einen erfolgreichen Einsatz gegeben ist. Genauer zu den technischen Ansprüchen an eine Polizeidrohnne folgt in den folgenden zwei Unterkapiteln.

10.2 Wahrnehmung von Autorität – wie wird eine Drohne zur Polizeidrohnne?

Wie sich bereits durch die Resultate der Wahrnehmungs-Experimente in Kapitel 8 gezeigt hat, stellt die Erkennbarkeit einer Polizeidrohnne als solche einen Kernpunkt der öffentlichen Wahrnehmung dar. Eindeutige Alleinstellungsmerkmale von Polizeidrohnen sind zur Erreichung einer guten gesellschaftlichen Akzeptanz unabdingbar – dass dies jedoch nicht einfach zu erreichen ist, zeigen insbesondere die Ergebnisse aus Kapitel 8.3.3. Hier zeigte sich, dass die grüne Signalfarbe der als «Polizei» gekennzeichneten Drohne die gegenteilige Wirkung erzielte: Im Vergleich zur Drohne in der «Standardfarbe» Grau schnitt die grüne Polizeidrohnne besonders in punkto Professionalität deutlich schlechter ab. Es kann an dieser Stelle angenommen werden, dass dies auch damit zusammenhängt, dass aufgrund der geringen Grösse der Drohne die «Polizei»-Beschriftungen auf der Drohne für einen Betrachter am Boden nicht lesbar sind, und dieser die Drohne aufgrund ihrer Farbe allein nicht einer polizeilichen

Funktion zuordnet. Es ist wahrscheinlich, dass die Probanden hier aufgrund der Farbe, die keine Gemeinsamkeit mit der Farbe typischer Polizeisymbole (z.B. eines Streifenwagens) hat, keine Verbindung zur Polizei erkennen.

Aus den Resultaten von ebendiesem Experiment zeigt sich auch, dass auch eine grössere physische Grösse der Drohne zu einer besseren subjektiven Wahrnehmung von Sicherheit und Professionalität führt. Somit legt sich die Schlussfolgerung nahe, dass eine grössere Drohne bessere Grundvoraussetzungen hat, sich visuell als Polizeidrohne zu identifizieren – sei dies durch ihre klare Unterscheidbarkeit von «Spielzeugdrohnen», wie sie jedermann besitzen kann, als auch durch die Möglichkeit zur grösseren Beschriftung und/oder deutlicheren Gestaltung in Polizeifarben.

Ein dritter Punkt, der die Akzeptanz und funktionelle Identifikation nachweislich verbessern konnte, ist das Anbringen sichtbarer, funktionaler Ausrüstung (wie z.B. eines Lautsprechers). Wie die Umfrageergebnisse aus Kapitel 8.3.4 gezeigt haben, erreicht zudem die akustische Identifikation einer Polizeidrohne (sowohl mit als auch ohne Martinshorn) eine sehr positive Resonanz in der Bevölkerung, und einen signifikant höheren Beruhigungseffekt als eine vergleichbare Drohne, die sich nicht akustisch identifiziert.

Diesen Faktoren sollte, sofern dies ohne funktionale Beeinträchtigung möglich ist, bei der Gestaltung einer Polizeidrohne Rechnung getragen werden. Die technischen Implikationen, die diese Rückschlüsse mit sich bringen, werden in Folge in Kapitel 10.3 besprochen.

10.3 Technische Aspekte – wie muss eine Polizeidrohne aufgebaut sein?

Aufgrund der unter der vorherigen Fragestellungen zeigen sich diverse Punkte auf, die Grundvoraussetzungen für die erfolgreiche Implementation und gesellschaftliche Akzeptanz von Drohnen als Einsatzmittel sind. Dem erfolgreichen Einsatz von Drohnen liegt jedoch als ebenfalls als Basis eine technische Ausrüstung zugrunde, die die Möglichkeit bietet, all diesen Kriterien gerecht zu wer-

den. Daher stellt sich die Frage, wie eine Polizeidrohne aus technischer Sicht aufgebaut sein sollte. Die folgende Tabelle illustriert aufgrund der Ergebnisse sämtlicher durchgeführter Experimente die dabei festgestellten technischen Kriterien, deren Wichtigkeit, sowie dazu festgestellte Punkte, die bei der Erfüllung der jeweiligen Kriterien helfen können. Sie stellt somit eine Entscheidungshilfe dar, basierend auf der grundlegenden Entscheidung bezüglich zukünftig einzusetzender Technik gefällt werden könnten.

Kriterium	Wichtigkeit	Befunde
Erkennbarkeit	sehr hoch	Für gesellschaftliche Akzeptanz ist es zwingend notwendig, dass eine Polizeidrohne ohne Vorwissen und auch auf grössere Distanz als solche erkannt werden kann. Diese Erkennbarkeit sollte sowohl visueller als auch akustischer Natur sein; insbesondere bei kleineren Drohnen kann eine visuelle Identifikation selbst bei mittleren Distanzen nicht ausreichend sein.
Sicherheit	sehr hoch	Soll im städtischen Raum geflogen werden, muss ein hohes Mass an Sicherheit gewährleistet werden können. Dies kann hardwareseitig durch Redundanz, softwareseitig durch intelligente, situationsbewusste Flugplanung, und auf personeller Seite durch fundierte Ausbildung erreicht werden.
Kamera & Zoom	hoch	Soll eine Drohne nicht nur oberflächliche Informationen über einen Schadenplatz liefern, sondern z.B. sogar Informationen zum Signalement einer Täterschaft bereitstellen können, ist eine Kamera mit optischem Zoom zwingend erforderlich. Dieser sollte im Bereich von mindestens 6-10x liegen – deutlich höhere Zoomstärken haben sich im erprobten Einsatz als nicht zwingend not-

		<p>wendig gezeigt.</p> <p>Ein Grund für die Notwendigkeit einer optischen Zoomfunktion liegt auch darin, dass durch die zur Live-Übertragung (unabhängig ob <i>Milestone</i>- oder eines anderen Systems) verwendete Kompression ein Verlust von Details im Bild geschieht, welcher durch Zoom mitigiert werden kann.</p> <p>Je nach Tageszeit hat es sich ebenfalls als hilfreich erwiesen, eine Kamera mit guter Lichtempfindlichkeit (typischerweise durch eine grosse Sensorgrösse erreicht) einzusetzen, da diese trotz widrigen Lichtbedingungen gutes Bildmaterial liefern können.</p> <p>Der Einsatz von Wärmebildkameras hat sich in den erprobten Szenarien nur in Ausnahmefällen als hilfreich gezeigt.</p>
Geschwindigkeit	hoch	<p>Es hat sich gezeigt, dass ein schnelles Eintreffen am Schadenplatz einen sehr grossen Mehrwert bieten kann. Daher ist es unabdingbar, dass eine Drohne grössere Distanzen schnell überwinden kann; je höher die maximale Fluggeschwindigkeit, desto besser. Der bisher verwendete Referenzwert von 70km/h sollte daher als Minimum angesehen werden.</p>
Grösse und Gewicht	mittel	<p>Während grössere Drohnen als professioneller wahrgenommen werden, gibt es Nachteile bezüglich der Beeinträchtigung der Öffentlichkeit; mit grossen Drohnen sollte unbedingt ein deutlich höherer Abstand zu Drittpersonen eingehalten werden; es hat sich auch gezeigt, dass Probanden bei grösseren Drohnen die Distanz zwischen sich und der Drohne als viel geringer wahrnehmen als</p>

		<p>bei kleineren Drohnen. Aus Kosten-, Sicherheits- und Geschwindigkeitsgründen empfehlen sich ebenfalls eher kleinere und somit leichtere Drohnen. Wenn ein kleineres Drohnenmodell alle anderen technischen Anforderungen erfüllen kann, ist es daher tendenziell zu bevorzugen.</p>
Autonomie	mittel	<p>Aufgrund der heutigen technischen Möglichkeiten sowie aktueller und zukünftiger Gesetzgebung ist davon auszugehen, dass in heute und in naher Zukunft lediglich ein autonomer Anflug zu einem gegebenen Zielpunkt möglich ist, und ab dort ein ausgebildeter Pilot die Kontrolle über die Drohne übernehmen muss. Insbesondere wenn die Möglichkeit zur Verfolgung einer Zielperson besteht, können gerade im städtischen Raum aktuelle autonome Systeme die Ansprüche nicht erfüllen, und stellen damit zum heutigen Zeitpunkt keinen Kernpunkt dar.</p> <p>Der autonome Flug an einen Zielpunkt ist eine relativ grundlegende Funktion, die die meisten heute erhältlichen Drohnen ohne Weiteres erfüllen können; der Zugriff durch einen in der Einsatzzentrale stationierten Piloten stellt allerdings eine separate Herausforderung dar. Die Versuche haben gezeigt, dass Probanden die Autonomie einer Drohne praktisch nicht einschätzen können – somit trägt dieser Aspekt bezüglich der öffentlichen Wahrnehmung nur wenig Gewicht.</p>
Lautstärke	niedrig	<p>Je lauter eine Drohne ist, desto stärker fühlen sich Dritte durch sie gestört. Es hat sich jedoch gezeigt, dass Drohnen mit klar erkennbarem Einsatzzweck auf eine deut-</p>

		lich höhere Akzeptanz stossen, und somit unter Berücksichtigung des Kriteriums der Erkennbarkeit der Lautstärke nur weniger Gewicht zufällt.
Flugzeit	niedrig	Im Rahmen der Gesamtszenarien hat sich gezeigt, dass Flugzeiten von 20-30 Minuten in der Regel für einen Einsatz ausreichend sind. Dies erfüllen bereits heute die meisten gängigen Drohnensysteme. Sollte ein Einsatz länger dauern, bzw. eine kontinuierliche Luftüberwachung eines Schadenplatzes notwendig sein, ist ein Ablösungsmodell relativ unkompliziert realisierbar; dabei würde, sobald der Akku der eingesetzten Drohne zur Neige geht, automatisch eine weitere Drohne an den Einsatzort entsandt, um den Einsatz ohne Unterbruch fortzusetzen. Bereits mit zwei bis drei Drohnen könnte dadurch ein kontinuierlicher Einsatz gewährleistet werden.
Wetterfestigkeit	niedrig	Ähnlich wie Polizeihelikopter unterliegen auch Drohnen gewissen wetterbasierten Einsatzlimitationen. Aufgrund der Tatsache, dass Drohnen Kamerabilder liefern müssen, kann auch eine erhöhte Wetterfestigkeit (z.B. Regentauglichkeit) der Drohne nicht garantieren, dass Einsätze bei schlechter Witterung möglich sind. Dies primär deshalb, weil bei Regen oder Nebel kaum gute Luftaufnahmen möglich sind – Kondensation oder Regentropfen auf der Kameralinse können schnell dazu führen, dass ein Luftbild keinen Nutzen mehr bringt. Somit wären Drohnen eher als «Schönwetter»-Einsatzmittel zu verstehen. Eine gewisse Windresistenz ist allerdings Grundvoraus-

		setzung dafür, dass Drohnen erfolgreich eingesetzt werden können – rein durch den Aspekt der benötigten Geschwindigkeit ist jedoch schon davon auszugehen, dass eine Drohne, die dies erfüllt, auch eine ausreichende Windresistenz mitbringt.
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Tabelle 16: Technische Anforderungen für Polizeidrohnen

11 Zukünftige Forschungsbereiche

11.1 Einführung

Dieses Kapitel zielt darauf ab, Fragestellungen zum Thema von Drohnen als Einsatzmittel aufzuzeigen, welche im Rahmen dieser Vorstudie nicht beantwortet wurden. Durch die durchgeführten Experimente wurde ein grosses Datenvolumen gesammelt, durch dessen weitere Verarbeitung sicherlich noch Neu Erkenntnisse zur Thematik gewonnen werden können.

Die folgende nicht-abschliessende Liste enthält Fragestellungen, welche aufgrund der gesammelten Daten behandelt werden könnten, jedoch ausserhalb des Rahmens dieser Arbeit liegen. Ausserdem wird ebenfalls auf Fragestellungen eingegangen, welche für die Thematik relevant sind, aber weitere Forschung beziehungsweise zu ihrer Beantwortung eine fundiertere Datengrundlage benötigen.

11.2 Technische und polizeiliche Fragestellungen

11.2.1 Alternative Einsatzformen

Wie bereits in Kapitel 4.2.4 erwähnt, existieren parallel zur wohl populärsten Ausprägung von Drohnen, den Multikoptern, diverse andere Bauformen und technische Ansätze für dasselbe Anwendungsgebiet. Daher könnte es für einen zukünftigen Einsatz sinnvoll sein:

- 1) Alternative Bauformen (z.B. VTOL) eingängig bezüglich ihrer Eignung für den polizeilichen Einsatz zu erproben; unter Berücksichtigung der in Kapitel 10.3 erläuterten technischen Kriterien ist nicht auszuschliessen, dass eine derartige Lösung beispielsweise den Einsatz mehrerer Drohnen erübrigen könnte.
- 2) Alternative Einsatzformen (z.B. Schwarm von kleinen, kostengünstigen, kooperativen Multikoptern) auf technische und anwendungsspezifische

Machbarkeit zu prüfen; dies unter Berufung auf den Fakt, dass eine einzelne Drohne im Einsatz einen zusätzlichen Blickwinkel bietet, und durch den parallelen Einsatz mehrerer Drohnen beispielsweise mehrere Gebäudeausgänge zeitgleich beobachtet werden könnten.

11.2.2 Kommunikation und Koordination der «Informationsflut»

Bei der Durchführung von simulierten Gesamtszenarien hat sich gezeigt, dass bereits eine einzelne Drohne, welche Luftaufnahmen eines Schadenplatzes liefert, eine grosse Menge an Daten generiert, woraus wiederum eine Vielzahl an Informationen gewonnen werden kann. Diese Information effizient an die Einsatzkräfte an der Front zu übermitteln, stellt eine der wohl grössten offenen Herausforderungen zum Thema Drohneneinsatz dar. Nicht zuletzt die Eindeutigkeit von bildlichen Information wirft die Frage auf, ob Funk allein zur Informationsübermittlung ausreichend ist. Dies führt zu folgenden möglichen Forschungsthematiken:

- 1) Den Funkverkehr nicht zu stark zu belasten, zeigte sich in den durchgeführten Gesamtszenarien als Herausforderung; während die Einsatzzentrale oftmals möglichst viele Informationen (z.B. zu Täterbewegungen) übermitteln möchte, kann dies einen kontraproduktiven Effekt haben, da ein dauernder Informationsfluss via Funk die Einsatzkräfte zusätzlich beansprucht. Daher wäre es sinnvoll, zu formalisieren, nach welchen Kriterien und Strukturen eine erfolgreiche Funkkommunikation trotz der grossen zusätzlichen Informationsmenge aufgebaut werden kann.
- 2) Im Zuge der Befragungen der Einsatzkräfte im Anschluss an die Gesamtszenarien hat sich ausserdem ergeben, dass es gelegentlich von Nutzen sein könnte, beispielsweise über ein am Arm befestigtes Display direkten Zugriff auf das Livebild der Drohne zu haben. Zwar hatten die Einsatzkräfte bereits via Smartphone Zugriff auf das Livebild, jedoch

finden sie im Einsatz kaum Zeit, dieses hervorzuholen, zu entsperren, und dann das Bildmaterial zu analysieren. Daher wäre es naheliegend, hier den Nutzen zusätzlicher technischer Hilfsmittel zugunsten der Einsatzkräfte vor Ort zu erforschen.

11.3 Gesellschaftliche und juristische Fragestellungen

Wie bereits in Kapitel 4.4 erläutert, ist davon auszugehen, dass die aktuelle schweizerische Gesetzgebung zum Einsatz von Drohnen sich in den nächsten Jahren signifikant verändern wird; was diese Gesetzesänderungen konkret für einen zukünftige Implementation teilautonomer Drohnen bedeuten werden, lässt sich heute noch nicht eindeutig festhalten. Aus diesem Grund wird an dieser Stelle darauf verzichtet, konkrete juristische Fragestellungen aufzustellen. Stattdessen sollte der Fokus darauf liegen, eine konkrete Definition eines möglichen Realeinsatzes zu erstellen; dadurch kann basierend auf zukünftigen Regulationen abgeschätzt werden, inwiefern die tatsächliche juristische Machbarkeit gegeben ist.

Aufgrund des umfangreichen Daten-, Bild- und Videomaterials, das im Zuge dieser Arbeit entstanden ist, können zudem weitere Auswertungen in Betracht gezogen werden:

- 1) Aufgrund der Erfassung der demografischen Daten und der anonym codierten Antworten der Probanden könnte es in Betracht gezogen werden, die Daten auf allfällige Korrelationen zwischen demografischen Eigenschaften und Haltung gegenüber dem Einsatzmittel Drohne zu analysieren, um so zu eruieren, den Bedürfnissen welchen Bevölkerungsgruppen bei der Implementation von Drohnen besonderes Augenmerk geschenkt werden sollte.
- 2) Durch systematische Video-Analyse könnten allenfalls Rückschlüsse über das Verhalten Dritter am Schadenplatz, sowie den Einfluss des Einsatzmittels Drohne gezogen werden; dabei sollte jedoch die Tatsache,

dass Probanden sich innerhalb eines Experiments eventuell anders verhalten als im Alltag, genügend Gewicht gegeben werden.

- 3) Ein weiterer interessanter Aspekt zukünftiger Analyse wäre, die psychologische Wirkung der Drohne auf den Täter zu erfassen. Im Rahmen der Gesamtszenarien hat sich gezeigt, dass sich die Täter jeweils durch die Drohne immens unter Druck gebracht fühlten – unabhängig davon, ob diese sie zu diesem Zeitpunkt sehen konnte. Diesem Phänomen weiter nachzugehen, könnte ebenfalls dienlich darin sein, den Mehrwert von Drohnen als Einsatzmittel aufzuzeigen.
- 4) Zudem könnten die zahlreichen mit Probanden und Einsatzkräften geführten Interviews transkribiert und beispielsweise durch Codierung systematisch analysiert werden, um weitere Erkenntnisse über Schwächen und Stärken des Einsatzmittels Drohne zu erlangen.

12 Abschluss

Abschliessend kann gesagt werden, dass durch diese Vorstudie sowohl Nutzen als auch Machbarkeit des polizeilichen Einsatzes teilautonomer Multikopter grundsätzlich aufgezeigt werden konnten. Ebenso hat sich erwiesen, dass in der Bevölkerung eine grundlegende Akzeptanz für deren Einsatz besteht, sofern dieser unter Einhaltung gewisser Kriterien (insbesondere Erkennbarkeit und Rechtfertigung) stattfindet. Im Sinne der öffentlichen Wahrnehmung kann ebenfalls gesagt werden, dass eine gute Informations- und Kommunikationspolitik nach aussen notwendig sein wird, sollten Drohnen zukünftig als Einsatzmittel genutzt werden.

Während die rechtliche Zukunft von Drohnen in der Schweiz noch ungewiss bleibt, macht die Technik nicht Halt; bereits heute können erste Teile eines Einsatzes autonom erfolgen, und es ist davon auszugehen, dass die Autonomie-möglichkeiten sich in Zukunft stetig verbessern werden.

Somit können die in Kapitel 3.2 aufgestellten Hypothesen folgendermassen bewertet werden:

- 1) *Durch den Einsatz von teilautonomen Drohnen können schneller Informationen von Tatorten geliefert werden* – Die Hypothese kann akzeptiert werden; es konnte ein Mehrwert aufgezeigt werden, und ein schneller Anflug vor Ort ist technisch machbar.
- 2) *Luftaufnahmen können durch ihren Übersichtscharakter wertvolle, gesicherte visuelle Informationen liefern, die taktische Vorteile mit sich bringen* – Die Hypothese kann akzeptiert werden; es konnten sowohl bei der Übersicht eines Schadenplatzes, als auch bei der Identifikation und Verfolgung eines Täters wertvolle Informationen gewonnen werden.
- 3) *Die Umsetzung ist technisch, sozial, und juristisch möglich, und findet grundsätzlich eine gesellschaftliche Akzeptanz.* – Die Hypothese kann grundsätzlich akzeptiert werden; jedoch mit der Einschränkung, dass die rechtlichen Grundlagen für kommende Jahre noch unklar sind.

Unter Berücksichtigung aller relevanter Aspekte kann daher abschliessend festgestellt werden, dass weitere Forschungen (gemäss Kapitel 11) zum polizeilichen Einsatz von Drohnen zielführend und sinnvoll sind.

13 Danksagungen

Im Entstehungsprozess dieser Arbeit habe ich allseits eine sehr umfangreiche und hilfsbereite Unterstützung genossen. An dieser Stelle möchte ich dafür meinen besonderen Dank aussprechen, insbesondere an Prof. Dr. Gerhard Schwabe für die Betreuung und Ermöglichung dieser Arbeit, sowie an Dr. Mateusz Dolata für seine umfangreiche Unterstützung sowohl in Planung als auch Durchführung dieser Vorstudie. Des Weiteren möchte ich mich bei Suzanne Tolmeijer, Dzmitry Katsiuba, Eva Wu, Ingrid Bauer und Sven Eckhardt bedanken, die mich während dieser Arbeit mit Rat und Tat unterstützt haben.

Seitens Stadtpolizei Zürich möchte ich mich insbesondere bei Peter Lanz und Oliver Hess bedanken, welche mich organisatorisch und fachlich stets unterstützt haben. Besonderer Dank gebührt ausserdem Reto Brunner und Tom Gossweiler, die in ihrer Funktion als Drohnenpiloten des UTD die zahlreichen Testflüge im Rahmen der Experimente bestritten haben.

Ausserdem möchte ich mich herzlich bei Daniel Hänni, Andreas Saia, Max Hulliger, Sven Honegger und Dominik Schwerzmann bedanken, sowie allen Mitarbeitern der Streifen der Sonderkommission und der Interventionseinheit, die an den Testszenarien beteiligt waren.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie, meiner Freundin Yu Lucy Huan, und meinem Freundeskreis bedanken, die mich mit ihrer kontinuierlichen Unterstützung während dem gesamten Entstehungsprozess dieser Arbeit begleitet haben.

14 Literaturverzeichnis

Arace UAS (2021). *Arace ROC*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://araceuas.com/roc/>

Ausbildungszentrum Riedikon (2014). *Übersichtsplan AZ*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://ausbildungszentrum-riedikon.ch/uebersichtsplan-az>

Benkhoui, Y., El Korchi, T., & Reinhold, L. (2019). UAS-Based Crack Detection Using Stereo Cameras: A Comparative Study. 2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 1031–1035.

Brunner, D. (2017). *Long Range Drone DJI Phantom 3 Professional*. Abgerufen am 20. September 2021 von https://www.technik-consulting.eu/en/optimizing/long_range_drone.html

Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2021a). *Regeln und allgemeine Fragen zu Drohnen*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen-und-flugmodelle/allgemeine-fragen-zu-drohnen.html>

Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2021b). *Die europäische Drohnenregulierung in der Schweiz*. Abgerufen am 20. September 2021 von https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen-und-flugmodelle/Europaeische_Drohnenregulierung_uebernommen.html

Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2021c). *Häufig gestellte Fragen (FAQ) zur Drohnenregelung*. Abgerufen am 20. September 2021 von https://www.bazl.admin.ch/dam/bazl/de/dokumente/Gut_zu_wissen/Drohnen_und_Flugmodelle/faq_neue_drohnenregulierung_2020.pdf.download.pdf/FAQ%20neue%20Drohnenregulierung%202020.pdf

Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2021d). *Spezielle Kategorie: Bewilligungen*. Abgerufen am 20. September 2021 von

- <https://www.bazl.admin.ch/bazl/de/home/gutzuwissen/drohnen/wichtigsten-regeln/bewilligungen.html>
- Clough, B. T. (2002). Metrics, schmetrics! How the heck do you determine a UAV's autonomy anyway. Air Force Research Lab Wright-Patterson AFB OH.
- DJI (2018). *Du kannst mit «ActiveTrack» filmen wie ein Profi!*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://store.dji.com/de/guides/du-kannst-mit-activetrack-filmern-wie-ein-profi/>
- DJI (2020a). *Matrice 300 RTK*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://www.dji.com/ch/matrice-300>
- DJI (2020b). *Matrice 300 RTK Redundant Systems Report*. Abgerufen am 20. September 2021 von https://terra-1-g.djicdn.com/851d20f7b9f64838a34cd02351370894/Matrice_300RTK_Redundant_Systems_Report.pdf
- DJI (2021a). *Mavic 2 Enterprise Series*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://www.dji.com/ch/mavic-2-enterprise>
- DJI (2021b). *Mavic 2 Enterprise Advanced*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://www.dji.com/ch/mavic-2-enterprise-advanced>
- Dutczak, J. (2018). Issues related to fuel cells application to small drones propulsion. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 421, No. 4, p. 042014). IOP Publishing.
- Fleck, M. (2016). Usability of Lightweight Defibrillators for UAV Delivery. Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems - CHI EA '16, 3056–3061.
- FLIR (2018). *Black Hornet PRS*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://www.flir.de/products/black-hornet-prs/>
- Gaynor, P. & Coore, D. (2014). Towards distributed wilderness search using a reliable distributed storage device built from a swarm of miniature UAVs. 2014 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS), 596–601.

- Heen, M. S., Lieberman, J. D., & Miethe, T. D. (2018). The thin blue line meets the big blue sky: Perceptions of police legitimacy and public attitudes towards aerial drones. *Criminal Justice Studies*, 31(1), 18-37.
- Hussein, M. et al. (2020). "Key Enabling Technologies for Drones, In 2020 23rd Euromicro Conference on Digital System Design (DSD), pp. 489-496, doi: 10.1109/DSD51259.2020.00083.
- Khan, Md. N. H., & Neustaedter, C. (2019). An Exploratory Study of the Use of Drones for Assisting Firefighters During Emergency Situations. *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems - CHI '19*, 1-14.
- Klauser, F., & Pedrozo, S. (2017). Big data from the sky: popular perceptions of private drones in Switzerland. *Geographica helvetica*, 72(2), 231-239.
- Leica Geosystems (2016). *Aibot X6 Version 2*. Abgerufen am 20. September 2021 von https://leica-geosystems.com/-/media/Files/LeicaGeosystems/Products/Datasheets/Aibot_X6_UAV_DS.ashx?la=de-DE
- Li, K. W., Sun, C., & Li, N. (2020). Distance and Visual Angle of Line-of-Sight of a Small Drone. *Applied Sciences*, 10(16), 5501.
- Manzoni, P., Calafate, C. T., Cano, J.-C., & Mota, E. (2015). Epidgeons: Combining Drones and DTNs Technologies to Provide Connectivity in Remote Areas. *Proceedings of the First Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications for Civilian Use - DroNet '15*, 57-58.
- McNeal, G. S. (2014). *Drones and aerial surveillance: Considerations for legislators*. Brookings Institution: *The Robots Are Coming: The Project on Civilian Robotics*.
- Montanari, A., Kringberg, F., Valentini, A., Mascolo, C., & Prorok, A. (2018). Surveying Areas in Developing Regions Through Context Aware Drone Mobility. *Proceedings of the 4th ACM Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications - DroNet'18*, 27-32.

- Nunamaker Jr, J. F., Briggs, R. O., Derrick, D. C., & Schwabe, G. (2015). The last research mile: Achieving both rigor and relevance in information systems research. *Journal of management information systems*, 32(3), 10-47.
- Pinto, R., Zambetti, M., Lagorio, A., & Pirola, F. (2019). A network design model for a meal delivery service using drones. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 1–21.
- Scopus. (20. September 2021) *Publikationen pro Jahr zu «Drones», «UAV», «RPAS» und «*copters»*. Abgerufen am 20. September 2021 von <https://www.scopus.com>
- Seo, S.-H., Won, J., Bertino, E., Kang, Y., & Choi, D. (2016). A Security Framework for a Drone Delivery Service. *Proceedings of the 2nd Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications for Civilian Use - DroNet '16*, 29–34.
- Shavarani, S. M. (2019). Multi-level facility location-allocation problem for post-disaster humanitarian relief distribution: A case study. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 9(1), 70–81.
- Taralle, F., Paljic, A., Manitsaris, S., Grenier, J., & Guettier, C. (2015, April). A Consensual and Non-ambiguous Set of Gestures to Interact with UAV in Infantrymen. In *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 797-803).
- Tatham, P., Ball, C., Wu, Y., & Diplas, P. (2017). Long-endurance remotely piloted aircraft systems (LE-RPAS) support for humanitarian logistic operations: The current position and the proposed way ahead. *Journal of Humanitarian Logistics and Supply Chain Management*, 7(1), 2– 25.
- Terzi, M., Kolios, P., Panayiotou, C., & Theocharides, T. (2019). A Unified Framework for Reliable Multi-Drone Tasking in Emergency Response Missions. *2019 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)*, 819–827.
- Tezza, D., & Andujar, M. (2019). The state-of-the-art of human–drone interaction: A survey. *IEEE Access*, 7, 167438-167454.

Wyss, D. (2020). Literature Review: Application Areas and Acceptance of semi-autonomous Drones. Independent Study, UZH