

Hochschule Ruhr West  
Fachbereich 4, Gruppe Sicherheitstechnik  
David Schepers (Prof. Dr.-Ing.)



**Sicherheitsanalyse unbemannter Luftfahrtsysteme bei der  
Einsatzstellenaufklärung und Personensuche im feuerwehrtechnischen Dienst**

Maximilian Ulbrich  
M.-Nr. 10007369, Version 2.0  
Erstprüfer Prof. Dr.-Ing. David Schepers  
Zweitprüfer Benjamin Schürholt (B. Sc.)  
Ausgabe des Themas 2021-09-20  
Abgabe der Arbeit 2021-12-13



## Inhalt

1	Einleitung.....	1
1.1	Zielsetzung und Struktur .....	2
2	Einführung in die UAS-Technologie.....	4
2.1	Entwicklung von UAS und Marktübersicht .....	4
2.2	Nutzen von UAS im feuerwehrtechnischen Dienst.....	6
2.3	Rechtlicher Rahmen für UAS.....	8
3	Risikobeurteilung.....	11
3.1	Festlegung der Grenzen des Systems .....	11
3.2	Identifizierung der Gefährdungen .....	15
3.3	Risikoeinschätzung.....	18
3.4	Risikominderung .....	24
3.4.1	Risiko und Risikominderung bei Lithium-Akkumulatoren .....	25
3.4.2	Allgemeine Risikominderung .....	29
3.5	Zweite Risikoeinschätzung.....	32
4	Schluss .....	33
5	Literatur .....	34



# 1 Einleitung

Drohnen erfreuen sich in den vergangenen Jahren immer größerer Beliebtheit. Eine Analyse des Verbandes der deutschen Luftfahrt zeigt, dass im Jahr 2021 rund 430.700 Drohnen in Deutschland registriert waren. Bis vor wenigen Jahren wurden Drohnen hauptsächlich von Privatpersonen genutzt, jedoch ist diese Zahl in den letzten Jahren rückläufig. Die kommerzielle Nutzung von Drohnen steigt im Gegensatz dazu stetig an. Seit 2019 gab es einen Zuwachs von 138 Prozent auf 45.200 Drohnensysteme. Trotzdem befinden sich demzufolge derzeit gerade einmal 10 Prozent der registrierten Drohnen in kommerzieller Nutzung [1].

In der deutschen und englischen Sprache existiert eine Vielzahl an Bezeichnungen für Drohnen. Sehr geläufig und daher die in dieser Arbeit verwendeten Bezeichnungen sind UAS (engl. Unmanned Air System) und UAV (engl. Unmanned Air Vehicle). UAV bezeichnet die Drohne an sich, ergo den Teil des Systems, der fliegt. UAS meint das gesamte System bestehend aus dem UAV, der Steuereinheit und sämtlicher zusätzlicher Komponenten, die für den Flugbetrieb eingesetzt werden.

Bei UAV handelt es sich um unbemannte Fluggeräte, die spezifische Aufgaben an Einsatzorten verrichten, die für Menschen zu gefährlich beziehungsweise nicht zu erreichen sind. Neben UAV existieren noch weitere Typisierungen, die nicht in der Luft, sondern ausschließlich am Boden oder unter Wasser operieren. Jedes dieser Systeme ist immer mit mindestens einer Kamera ausgestattet, um dem Piloten das Steuern aus der Ferne zu ermöglichen. Die Anwendungsgebiete von UAS sind umfangreich. Gerne werden sie von Foto- und Videografen für Luftaufnahmen verwendet. In der Land- und Forstwirtschaft werden UAV beispielsweise für die automatisierte und punktgenaue Schädlingsbekämpfung oder zur Überwachung des Pflanzenwachstums eingesetzt [2]. Ebenso haben Feuerwehren in den letzten Jahren erkannt, dass UAV einen großen Mehrwert bieten und ihre Einheiten um eine UAS-Staffel ergänzt. Vorreiter für den Einsatz von UAS bei der Feuerwehr war die Facheinheit Rettungshunde/Ortungstechnik Thüringen, die erstmals 2010 ein UAS einsetzte [3]. Da zum derzeitigen Zeitpunkt kein UAV existiert, das speziell für den feuerwehrtechnischen Einsatz konzipiert wurde, hat das Institut der Feuerwehr Münster (IdF) 2019 eine Ausschreibung veröffentlicht, um ein für seine Einsatzzwecke geeignetes UAS entwickeln zu lassen [siehe Anhang 1].

Bei der Betrachtung der Anforderungen, die ein UAV für den Einsatz bei einer Feuerwehr erfüllen muss, entstand die Idee für diese Bachelorarbeit. Der Leitsatz der Feuerwehr „Retten, Löschen, Bergen, Schützen“ zeigt, dass die Arbeit der Feuerwehr vorrangig dem Schutz der Bevölkerung dient. Daher ist es von zentraler Bedeutung, dass sämtliche von ihr verwendeten Einsatzmittel auf

ihre Sicherheit geprüft werden und keine Gefahr darstellen. Ein UAS darf dementsprechend ebenfalls keine Ausnahme bilden. Vor allem unter Berücksichtigung der Sonderstellung, die die Feuerwehr einnimmt, indem sie von den Regeln der Luftverkehrsverordnung befreit ist [4], sollten jegliche Unfälle vermieden werden. Unter Berücksichtigung der in der Bevölkerung existierenden Unsicherheit bezüglich des Einsatzes von UAV sollten mögliche Folgen, die ein Unfall mit diesen haben könnte, verhindert werden. So könnte das zu Schaden kommen einer Person durch ein UAS zum Verlust des Vertrauens der Bevölkerung in die Feuerwehr führen. Demnach ist die Durchführung einer Risikobeurteilung, bevor ein UAS im feuerwehrtechnischen Dienst eingesetzt wird, ein zentraler Schritt, um das Arbeiten mit UAS für sämtliche beteiligte und unbeteiligte Personen sicher zu gestalten, Gefahrenpotenziale aufzuzeigen und Gefahren zu mindern.

Auf Basis dieser Überlegungen sollte das vom IdF bestellte System nach seiner Lieferung einer Risikobeurteilung unterzogen werden, um mögliche von dem UAV ausgehende Gefährdungen für den Menschen zu ermitteln und zu minimieren. Aufgrund von Verzögerungen seitens des Herstellers wurde das System jedoch bis zum Abgabzeitpunkt dieser Bachelorarbeit nicht geliefert. Daher befasst sich diese Arbeit mit einer allgemeinen Risikobeurteilung für UAV im feuerwehrtechnischen Einsatz, angelehnt an die UAS Spezifikationen, die das Institut der Feuerwehr Münster in seiner Ausschreibung für den Hersteller definiert hat, und an vergleichbare Systeme aus der freien Wirtschaft. Ferner konnten aufgrund des nicht gelieferten Systems keine weitergehenden Tests mit dem UAV durchgeführt werden.

## **1.1 Zielsetzung und Struktur**

Ziel dieser Bachelorarbeit ist die Durchführung einer Risikobeurteilung eines UAV inklusive beispielhafter Risikominderung ausgewählter Gefährdungen. Die Risikominderung soll in Form von Umsetzungsempfehlungen und Handlungsanweisungen unter Berücksichtigung aktueller Fachliteratur erfolgen. Im Vorfeld der Risikobeurteilung wird ein Überblick über die sich aktuell auf dem Markt befindlichen UAS sowie deren Technik gegeben. Anschließend wird kurz die Entwicklung von UAS betrachtet. Zudem wird der Nutzen von UAS im feuerwehrtechnischen Dienst dargestellt und die Spezifikationen von UAS für den Gebrauch bei Feuerwehren werden genannt. Es folgt ein grober Überblick über die für UAS geltenden Gesetze sowie die Empfehlungen des BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) für den Einsatz von UAS bei der Feuerwehr. Anschließend beginnt die Risikobeurteilung mit der Bestimmung der Grenzen des Systems. Es folgt die Identifizierung der Gefährdungen und die Einschätzung der einzelnen Risiken. Im nächsten Schritt wird die Risikominderung am Beispiel der Akkumulatoren detailliert durchgeführt. Dazu werden Möglichkeiten zur Risikominderung

bezogen auf die Akkumulatoren vorgestellt und zukünftig zu entwickelnde Konzepte vorgeschlagen. Ergänzend dazu werden einige allgemeine Maßnahmen zur Risikominderung vorgestellt. Abschließend erfolgt eine Kontrolle der Maßnahmen zur Risikominderung durch eine erneute Risikoeinschätzung.

## 2 Einführung in die UAS-Technologie

### 2.1 Entwicklung von UAS und Marktübersicht

Der Gedanke an eine unbemannte Maschine, die sich im Luftraum fortbewegt und Aufgaben an Einsatzorten übernimmt, zu denen kein Mensch gelangen kann, ist nicht neu. Ihren Ursprung hat die Drohnentechnologie in der militärischen Anwendung. Bereits 1849 erfanden die Brüder Franz und Josef Uchtaius erste unbemannte Flugobjekte, die maßgeblich an der Kapitulation Venedigs während dessen Rebellion gegen Österreich beteiligt waren. Die Brüder entwickelten unbemannte, mit Sprengstoff ausgerüstete Ballons, die die fehlende Reichweite der Artillerie ausgleichen und den Sprengstoff bei Ankunft über der Stadt abwerfen sollten [5].

Nicola Tesla stellte 40 Jahre später auf der Weltausstellung 1898 das erste unbemannte und aus der Ferne steuerbare Fahrzeug vor. Es handelte sich um ein fast zwei Meter langes Modellschiff, das über eine Fernbedienung mittels Radiowellen ferngesteuert werden konnte. Tesla sah ebenfalls in seiner Erfindung hauptsächlich militärisches Potenzial, „zuverlässige und unbegrenzte Zerstörungskraft“, die zu „ständigem Frieden zwischen den Nationen“ verhelfen sollte [5].

Es dauerte nicht lange, bis die Militärorganisationen dieser Welt erkannten, welcher enorme Nutzen aus unbemannten Systemen gezogen werden konnte. Nicht nur, dass Bomben (im besten Fall hinter feindlichen Linien) abgeworfen werden konnten, sondern es konnten erstmalig Bilder der feindlichen Linien aus sicherer Entfernung gemacht werden, ohne dass eigene Soldaten einer Gefahr ausgesetzt werden mussten. Das erste ferngesteuerte Flugsystem, das der modernen Vorstellung eines UAV näher kommt, wurde von Archibald Montgomery Low entwickelt. Es handelte sich um einen schmalen, einmotorigen Starflügler, der mittels Druckluft von der Ladefläche eines Lastkraftwagens gestartet und per drahtloser Fernbedienung gesteuert wurde. Zwar stürzte das System nach kurzer Zeit ab, führte jedoch dazu, dass anschließend mit Hochdruck an dieser Erfindung geforscht wurde [5].

Die UAS der heutigen Zeit erinnern äußerlich und vor allem technisch nur noch entfernt an ihre Vorfahren aus der Vergangenheit. Ihr Kernaufgabengebiet weicht jedoch kaum von dem, der vor über einhundert Jahren entwickelten Systemen, ab. Der Transport von Material und die Informationsbeschaffung durch Foto- und Videografie stellt bis heute im militärischen sowie im zivilen Bereich den Haupteinsatzzweck von UAS dar. „Drohnen sind schneller und wendiger. Sie können länger in der Luft bleiben als Flugzeuge, über einem Punkt kreisen und sind ähnlich unsichtbar wie Satelliten.“ [5] Der wichtigste Punkt, der ein UAS allen anderen Systemen überlegen macht, egal ob das System in der Luft, auf dem Land oder unter Wasser operiert, ist,



dass sich der Pilot nicht an Board befindet und somit im Falle einer Beschädigung oder Zerstörung des Systems das Leben des Piloten nicht gefährdet wird.

Anbieter von UAS für den privaten sowie kommerziellen Gebrauch gibt es einige. Zu den bekanntesten gehören DJI, iFlight, Yuneec und Xiaomi/Fimi. Einen Anbieter, der UAS speziell für den feuerwehrspezifischen Gebrauch herstellt, gibt es derzeit noch nicht. Bisher kaufen viele Feuerwehren ein für den privaten Gebrauch konzipiertes UAS und ergänzen dieses mit nützlichen Komponenten wie einer Wärmebildkamera. Jedoch hat beispielsweise DJI mehrere Drohnensysteme entwickelt, die besonders für Feuerwehren geeignet sind. Zusätzlich spielt DJI eine NFZ (engl. No-Fly-Zone) Freischaltung bei sämtlichen Systemen für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben (BOS) auf. Eine NFZ-Freischaltung ist für BOS wichtig, da diese erst ermöglicht, in Gebieten mit dem System zu arbeiten, in denen eigentlich ein Flugverbot für UAV gilt, zum Beispiel in Naturschutzgebieten oder in der Nähe von Flughäfen. Die DJI-Matrice 300 RTK ist ein Beispiel für ein System von DJI mit besonderer Eignung für Feuerwehren. Das System verfügt über eine redundant ausgelegte Stromversorgung und über Akkumulatoren, die sich selbst temperieren. Letzteres sorgt dafür, dass der Temperatureinsatzbereich sehr groß sein kann. Er umfasst Außentemperaturen von -20° bis 50° Celsius. Daher ist dieses UAV unabhängig von der Jahreszeit und somit im Einsatzfall bei extremen Außentemperaturen nutzbar. Ebenso kann die DJI-Matrice 300RTK von zwei unabhängigen Personen gleichzeitig gesteuert werden [6]. Für Feuerwehren praxisuntauglich ist jedoch, dass es sich um ein ARF (Almost Ready to Fly) System handelt, bei dem im Einsatzfall noch die Rotorarme ausgefaltet und über eine Schraubverbindung fixiert werden müssen. Zudem sind die Landekufen vor der Verwendung zu montieren.

In der UAV Technik sowie in der bemannten Luftfahrt wird zwischen zwei Arten von Flugsystemen unterschieden: den sogenannten Starr- und Drehflüglern. Starrflügler zeichnen sich dadurch aus, dass der zum Flug benötigte Auftrieb über starre Tragflächen erzeugt wird. Bei Drehflüglern hingegen wird der Auftrieb über mindestens einen vertikal zum Boden ausgerichteten Rotor erzeugt. Unbemannte Flugsysteme, die über einen vertikal zum Boden ausgerichteten Rotor verfügen, werden in der Regel Copter genannt [7]. Der Aufbau von UAV mit Copterbauweise kann stark voneinander abweichen. Beispielsweise gibt es sogenannte Quadrocopter mit vier Rotoren, Hexacopter mit sechs Rotoren und Octocopter mit acht Rotoren. Am weitesten verbreitet ist der Quadrocopter, der durch seinen geringen Herstellungspreis, seine kompakte Größe und geringem Gewicht hervorsticht. Hexa- und Octocopter sind zwar schwerer, können dafür jedoch größere Lasten transportieren und verfügen aufgrund ihrer sechs

beziehungsweise acht Rotoren über eine gewisse Redundanz, die bei Ausfall eines Motors das sichere Zurückfliegen und Landen des UAV ermöglicht [8, 7].

Die Bewegung des UAV im Raum wird durch das Ansteuern der einzelnen Rotoren oder Rotorpaare ermöglicht. Wird beispielsweise das Drehmoment sämtlicher Rotoren gleichmäßig erhöht, so steigt das UAV. Wird das Drehmoment gleichmäßig verringert, so sinkt es [7]. Der größte Vorteil, der vermutlich dafür verantwortlich ist, dass UAV mit Drehflügelbauweise wesentlich häufiger eingesetzt werden, ist, dass vertikal zum Boden ausgerichtete Rotoren keine Vorwärtsbewegung benötigen, um Auftrieb zu erzeugen. Dies ermöglicht den Schwebeflug und das senkrechte Starten des UAV. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass durch die Fähigkeit Auftrieb ohne Vorwärtsbewegung erzeugen zu können, dauerhaft Energie in Form von Treibstoff aufgebracht werden muss, um das UAV in der Luft zu halten. Flugmanöver wie der Gleitflug, bei dem kein Treibstoff benötigt wird, um das UAV in der Luft zu halten, sind somit nicht möglich.

Für den Antrieb der Motoren eines UAV gibt es in der Regel zwei Möglichkeiten mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. Zum einen gibt es die Möglichkeit, die Motoren mit Kraftstoff (z. B. Ottokraftstoff) zu betreiben. Benzinbetriebene UAV Motoren sind sehr leistungsstark und können größere Lasten transportieren. Zudem hat Ottokraftstoff eine sehr hohe Energiedichte (Heizwert: Ottokraftstoff ca. 8,6 kWh/l, Lithium-Ionen-Akkumulator ca. 0,58 kWh/l) [9], was im Vergleich mit Akkumulatoren sehr lange Flugzeiten ermöglicht [7]. Der größte Nachteil von mit Benzin betriebenen UAV ist, neben der mechanischen Komplexität, ihr extrem träges Flugverhalten. Erschwerend kommt hinzu, dass Verbrennungsmotoren gegenüber Elektromotoren aufgrund ihrer Vielzahl an beweglichen Teilen sehr fehleranfällig sind. Daher greifen fast sämtliche Hersteller von UAS auf Elektromotoren mit starken Stromspeichern in Form von Akkumulatoren zurück.

## **2.2 Nutzen von UAS im feuerwehrtechnischen Dienst**

Im feuerwehrtechnischen Dienst lassen sich vielfältige Einsatzbereiche für UAS identifizieren, denn UAS haben den Vorteil, dass sie „in Bereiche vordringen können, die für Menschen zu gefährlich oder unerreichbar sind“ [10]. Dank der Nutzung von UAS lässt sich eine Einsatzstelle durch die Vogelperspektive betrachten. Sehr hilfreich ist dies beispielsweise bei Bränden in engen und schwer zugänglichen Gebieten. Der Einsatzleiter gewinnt dadurch schnell einen Überblick über die Einsatzlage und kann gezielter planen und agieren. Tatsächlich ist das Livebild die am häufigsten genutzte Funktion eines Feuerwehr-UAS. Verfügt das UAS zusätzlich über Sensoren wie eine Wärmebildkamera oder Gasmesstechnik, ermöglicht es die Analyse einer Brandstelle in Hinblick auf Gefahrstoffe [8], Strahlenquellen, versteckte Wärmequellen sowie Glutnester [11].

Dabei ist beispielsweise die Wärmebildkamera dem menschlichen Auge um ein Vielfaches überlegen. Ebenfalls unterstützen kann ein UAS beim Aufspüren von (vermissten) Personen oder Tieren. Gleichzeitig dient der Einsatz des UAS der Dokumentation des Einsatzes und mithilfe des gesammelten Materials lässt sich die Lage für nachrückende Kräfte darstellen [11]. Zur Prävention von Katastrophenlagen eignen sich UAS ebenfalls, da mit ihnen beispielsweise vor Großveranstaltungen eine Lageerkundung erfolgen kann. [11].

Jedoch existieren beim Einsatz von UAS Einschränkungen. Die Systeme können nicht in eine Rauchwolke fliegen und auch extreme Witterungsbedingungen machen ihre Verwendung unmöglich. Letztendlich sind UAS vor allem eine gute Ergänzung der informationstechnischen Ausstattung von Feuerwehren.

Für den Einsatz bei einer Feuerwehr ist nicht jedes UAV geeignet. Vor allem Wendigkeit, Manövrierfähigkeit und die Möglichkeit auf der Stelle zu schweben sind wichtig. Zudem sollte das UAV schnell einsatzbereit sein. Dafür eignen sich RTF (engl. Ready to Fly) Systeme eher als ARF Systeme, da bei diesen weniger Zeit bis zur Einsatzbereitschaft benötigt wird. Ferner sollten UAV für den Einsatz bei einer Feuerwehr über ergänzende Mikrosensoren verfügen, zu denen ein GPS-Chip, Magnetometer, Gyrometer, Accelerometer und Barometer zählen [8]. Die FPV-Kamera (engl. First Person View), die der Pilot zum Fliegen des UAV verwendet, sollte um eine hochauflösende, auf einem Gimbel montierte Kamera ergänzt werden, die zudem über eine optische sowie digitale Zoomfunktion verfügt. Das Gimbel stabilisiert das übertragene Bild und ermöglicht eine unabhängige Ausrichtung der Kamera zur Flugrichtung. Für die feuerwehrspezifischen Aufgaben des UAV sollte eine Wärmebildkamera zum Aufspüren von Glutnestern oder vermissten Personen verbaut sein. Optional bietet sich für Feuerwehren die Möglichkeit an, das UAV mit Messgeräten wie Dosismess- oder Mehrgaswarngeräten situativ auszustatten und somit Messungen aus sicheren Entfernungen in Gefahrenbereichen durchführen zu können. Eine weitere sinnvolle Ergänzung des UAV ist ein Fallschirmsystem, da die Einsatzgebiete häufig in urbanem und dicht besiedeltem Gebiet gelegen sind. Der Fallschirm vermindert beim Überflug von Personen im Falle eines Absturzes die Anprallenergie und somit den potenziell entstehenden Schaden.

## 2.3 Rechtlicher Rahmen für UAS

Wie die bereits beschriebene Entwicklung der Anzahl der UAS in Deutschland zeigt, sind UAS jeglicher Art bereits in der breiten Gesellschaft angekommen. Daher musste ein internationaler Rechtsrahmen geschaffen werden, der den sicheren Umgang und vor allem den sicheren Betrieb von UAS gewährleistet [7]. Die im Jahr 2019 von der Europäischen Kommission beschlossene „Durchführungsverordnung [...] über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge“ sollte am 1. Juli 2020 in Kraft treten [12]. Aufgrund der Covid-19-Pandemie verschob sich dieses Datum auf den 31. Dezember 2020 [13]. Dementsprechend gelten seit 2021 neue und erweiterte, EU-weite luftrechtliche Regelungen für den Betrieb von UAS. Hinzu kommen noch länderspezifische Vorgaben.

Die EU-Verordnung unterscheidet zwischen drei Betriebskategorien. Die Betriebskategorie gibt an, ob und was mit einem UAV transportiert werden darf, wie das maximal zulässige Startgewicht und die maximale Flughöhe lauten und ob eine Sonderzulassung nötig ist. Zudem gilt eine Registrierungspflicht für sämtliche UAV, die mit Sensoren, die personenbezogene Daten erfassen können, ausgestattet sind oder über eine Startmasse von über 250 g verfügen. Ferner soll ein EU-weiter Kompetenznachweis sicherstellen, dass Fernpilotinnen/Fernpiloten über entsprechende Kenntnisse verfügen, die für das Steuern von UAV aus der Ferne unerlässlich sind [14]. Die Verordnung umfasst jedoch keine genauen Angaben über Flugverbotszonen. Diese sind in einer nationalen Verordnung geregelt [15].

Befreit von diesen Regelungen sind sämtliche BOS. Aufgrund ihrer Relevanz für den Bevölkerungsschutz müssen sie zur Erfüllung ihrer hoheitlichen Aufgaben weder einen Kompetenznachweis erbringen noch sich an die geltenden Regeln wie die maximale Flughöhe von 120 m halten [11]. Obwohl die grundlegende Idee hinter den von der EU aufgestellten Regeln der sichere Betrieb von UAV ist, sind BOS nach Artikel 2 Absatz 3 Buchstabe a der EU-Verordnung Nr. 2018/1139 davon ausgenommen [4]. Selbstverständlich kommt daher die berechtigte Frage auf, wieso BOS von den geltenden Regeln befreit sind.

Damit BOS ihren hoheitlichen Pflichten nachkommen können, ist es zwingend notwendig, dass diese sich über Regelungen hinwegsetzen können. Zum Beispiel dürfen UAS entsprechend der EU-Verordnung nicht in Flugverbotszonen gestartet werden, innerhalb dieser fliegen oder diese von außen filmen. Einsatzstellen der Feuerwehr werden automatisch bis zum Einsatze zu temporären Flugverbotszonen. Dementsprechend wäre es Feuerwehren per EU-Regelung untersagt, UAV in ihren eigenen Einsatzstellen zu verwenden. Indem sie von dieser Regel befreit sind, können sie UAS in ihren Einsatzorten verwenden, um die Bevölkerung vor Gefahren, die

vom Einsatz ausgehen, zu schützen und betroffene Personen zu retten. Eine ähnliche Problematik wird bei der Betrachtung von dauerhaften Flugverbotszonen wie Krankenhäusern, Industrieanlagen oder Flughäfen deutlich. Sollte es zu einem Einsatz der Feuerwehr in einem dieser Bereiche kommen, so wäre ihr der dortige Einsatz von UAV ebenfalls untersagt. Bei Großschadenslagen im Bereich von Industrieanlagen kann eine immense Gefährdung für die Bevölkerung bestehen. Der Einsatz eines UAS, das per Sensorik die Ausbreitung des Brandes oder der Gefahrstoffe erkennen und übermitteln kann, bietet unverkennbare Vorteile. Vor allem, da dies ohne die Gefährdung einer Einsatzkraft möglich ist.

Da BOS von den Vorschriften der „Durchführungsverordnung [...] über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge“ befreit sind und UAV im Rahmen der Erfüllung ihrer hoheitlichen Pflichten eingesetzt werden sollen, hat das BBK eine „Empfehlung für Gemeinsame Regelungen zum Einsatz von Drohnen im Bevölkerungsschutz“ veröffentlicht. Diese Empfehlung weist gleich zu Beginn darauf hin, dass BOS im Umgang mit UAV gerade aufgrund der vom Gesetzgeber eingeräumten Freiheiten eine besondere Sorgfaltspflicht zukommt [11]. Ebenso wie die ursprünglichen EU-Vorschriften hat diese Empfehlung den Anspruch die Nutzung von UAV durch BOS zu standardisieren und sicher zu gestalten.

Die Empfehlungen des BBK umfassen Regeln aus der Durchführungsverordnung, die auf BOS angepasst sind. Zudem weisen sie auf die äußerste Sorgfaltspflicht hin, die BOS bei Abweichungen von den Regeln zukommt. Ferner empfiehlt das BBK, dass jedes UAS vor der ersten Inbetriebnahme einer generellen Risikoeinschätzung unter Berücksichtigung der geplanten Einsatzszenarien des UAS unterzogen werden sollte. Hinzu kommt noch eine einsatzbezogene Risikobeurteilung, die vor jedem Einsatz durchzuführen ist, da sich die Einsatzsituationen u. a. in Bezug auf die Einsatzkräfte, Dritte, die Infrastruktur oder die Umwelt grundlegend voneinander unterscheiden können. Bei der allgemeinen Risikoeinschätzung wird eine Risikomaßzahl bestehend aus einer Kombination aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadenausmaß gebildet. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse über Gefährdungssituationen und mögliche Minderungen sind in schriftlicher Form festzuhalten. Mit diesem Vorgehen entspricht das BBK dem grundlegenden Konzept der Norm DIN EN ISO 12100 [15] sowie dem praktischen Leitfaden der ISO/TR 14121-2:2012 [16].

Vor dem Hintergrund, dass das UAV, das für das IdF konstruiert wurde, zur offenen Kategorie zählt und ein Gewicht von 7 kg aufweist, sind die Regeln zu dessen Kategorisierung zu betrachten.

Für UAV der Unterkategorie A3, betrifft UAV über 4 kg bis 25 kg, gilt:

„UAS dürfen in dieser Unterkategorie nur geflogen werden, wenn nach vernünftigem Ermessen davon ausgegangen werden kann, dass während des gesamten Fluges keine unbeteiligten Personen gefährdet werden. Während des Fluges ist ein Mindestabstand von 150 m zu Wohn-, Gewerbe-, Industrie- oder Erholungsgebieten einzuhalten.“ [17]

Basierend auf den gesetzlichen Regelungen dürfte das UAV des IdF folglich nur in unbebauten, nicht für die Erholung gedachten Bereichen eingesetzt werden [13], da die EU-Kommission die Gefahr, die ansonsten von dem UAV ausgeht, für zu groß einschätzt. Da das UAV dennoch aufgrund der Sonderstellung von BOS im Einsatz verwendet wird, wird deutlich, wie wichtig eine Risikobeurteilung des UAV im Vorfeld ist. Es ist problematisch, dass sich bisher wenige Feuerwehren an die Empfehlungen des BBK halten.

### 3 Risikobeurteilung

Das Ziel der Risikobeurteilung ist die systematische Aufdeckung von Gefährdungen sowie die Einschätzung und Bewertung von Risiken. Basierend auf der Bewertung erfolgt anschließend eine Risikominderung der Gefährdungen, bei denen schwerwiegende oder katastrophale Folgen zu erwarten sind. Zentral bei der Durchführung einer Risikobeurteilung ist nicht die Wahl eines speziellen Verfahrens, die immer vom Industriezweig, dem Unternehmen und den persönlichen Vorlieben abhängig ist, sondern vielmehr die generelle Durchführung der Risikobeurteilung [16].

Wie zuvor aufgezeigt, ist die Durchführung einer Risikobeurteilung für ein UAS, das bei der Feuerwehr in den Einsatz geht, unerlässlich. Vor allem ist dabei zu berücksichtigen, dass eine durch das UAS entstandene Gefährdungssituation, die während des Einsatzes auftreten kann, nicht nur die dieser Situation ausgesetzten Personen betrifft, sondern ebenfalls den Einsatzablauf stören oder verzögern und folglich die davon betroffenen Personen zusätzlich gefährden kann.

Die Risikobeurteilung beginnt mit einer detaillierten Beschreibung des Systems. Es gilt „eine anschauliche Beschreibung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften, der Funktionalität der Maschine, deren bestimmungsgemäße Verwendung und vernünftigerweise vorhersehbare Fehlanwendung sowie die Art der Umgebung, in der sie wahrscheinlich verwendet und gestartet wird, durchzuführen“ [16]. Der Beschreibung des Systems folgt die Identifizierung von Gefährdungen in Form einer Liste, die die Gefährdungen, Gefährdungssituationen sowie -ereignisse umfasst. Die Liste ermöglicht das Erkennen potenzieller Unfallszenarien. Im nächsten Schritt werden die identifizierten Gefährdungen bewertet. Auf Grundlage des Schadensausmaßes und der Eintrittswahrscheinlichkeit des Schadensereignisses wird das Risiko eingeschätzt. Im letzten Schritt soll das Risiko gemindert werden. Dazu dienen Schutzmaßnahmen, die bereits während der Risikobeurteilung entwickelt werden [16]. Nachdem Maßnahmen zur Risikominderung ergriffen wurden, ist anschließend das Risiko neu zu bewerten. Ziel ist es nachzuweisen, dass die ergriffenen Maßnahmen tatsächlich eine Risikominderung bewirkt haben.

#### 3.1 Festlegung der Grenzen des Systems

Bei dem ausgeschriebenen Modell des IdF handelt es sich um ein UAS, das speziell für den feuerwehrtechnischen Einsatz konzipiert wurde. Es umfasst entsprechend der Ausschreibung [siehe Anhang 1] das UAV, eine Ladestation, die für das gleichzeitige Laden von vier Akkumulatoren ausgelegt ist, insgesamt sechs Akkumulatoren für den Flugbetrieb sowie eine Zwei-Mann-Bedienung. Zudem besteht die Nutzlast des UAV aus einer optischen, digitalen RGB-Videokamera mit Nachtsichtmodus, einer digitalen Wärmebildkamera und einem LED-Scheinwerfer. Das System soll über mindestens eine Methode zur Flugstabilisierung sowie zur

Identifikation der aktuellen Position verfügen. Die genaue Umsetzung davon ist zu diesem Zeitpunkt jedoch noch nicht bekannt.

Das UAV wurde als Monocoque gefertigt, um einen ungestörten Flugbetrieb bei mäßigem Regen (bis 4 l/qm in 60 Minuten) und leichtem Schneefall zu gewährleisten. Dies bedeutet, dass die Hülle, die die Elektronik beinhaltet, weitestgehend aus einem Stück gefertigt wurde, sodass das Eindringen von Wasser verhindert wird. Von der Oberseite des UAV zugänglich befindet sich eine über eine Gummidichtung abgedichtete Klappe zum Akku-Fach. Das Monocoque besteht aus sehr leichter, bruchfester und splitterfreier Carbonfaser und ist zur besseren visuellen Erkennung im Flugbetrieb in Feuerwehrrot (RAL 3024) gehalten. Das UAV verfügt über acht Rotoren, die, wie in Abbildung [siehe Anhang 2] erkennbar, paarweise übereinander am X-Frame des Monocoque angeordnet sind. Bei dem System handelt es sich trotz der acht Rotoren entsprechend der Definition nicht um einen Octocopter, sondern um einen Quadrocopter mit redundant ausgelegten Motoren. Im vorderen Teil des Monocoque ist eine FPV-Kamera (First Person View-Kamera) mit einer Auflösung von mindestens 720p, einer Mindestbildrate von 24 Bildern die Sekunde (engl. Frames per Second, FPS) und einem Sichtfeld von mindestens 120° verbaut. Zudem verfügt das UAS über eine Aufnahme für Sensoren oder 3-Achs-Gimbel. Eine RGB-Videokamera mit Nachtsichtmodus, eine integrierte digitale Wärmebildkamera und ein LED-Scheinwerfer können über das Gimbel an dem UAS befestigt werden [siehe Anhang 2, 3].

Für Einsätze, die ein besonderes Gefahrenpotential aufweisen wie beispielsweise der Einsatz des UAV über Menschenansammlungen, kann ein Fallschirmsystem montiert werden. Im Falle eines Absturzes wird dies vom UAS erkannt und der Fallschirm löst automatisch aus. Sobald der Fallschirm entweder durch das System oder manuell durch die Fernpilotin/den Fernpiloten ausgelöst wurde, wird die Energieversorgung der Rotoren unterbrochen, um ein Abtrennen der Fallschirmleinen zu verhindern. Sollte der Fallschirm ausgelöst werden oder das UAV anderweitig abstürzen, erleichtert ein Unfalldatenschreiber die Ursachenforschung. Dieser speichert sämtliche Flugparameter. Dazu gehören die Lage im Raum, die Höhe, die Geschwindigkeit, die Position, die Flugrichtung, die Beschleunigung sowie die Steuereingaben des Fernpiloten. Die Daten werden redundant im UAV selbst und am Boden gespeichert.

Die Zwei-Mann-Bedienung bietet die Möglichkeit das UAV und das Kamerasystems unabhängig voneinander zu bedienen. Die Flugsteuerung erfolgt durch den Fernpiloten, die Steuerung des Kamerasystems durch einen Videooperator. Der Fernpilot sowie der Videooperator verfügen jeweils über eine eigene drahtlose Bedieneinheit. Die Bauweise der beiden Bedieneinheiten ist identisch, jedoch unterscheiden sie sich in ihren Funktionen [siehe Anhang 4]. Die Bedieneinheit



des Fernpiloten ist in der Lage sämtliche Funktionen des Videooperators zu übernehmen, um einen Ein-Mann-Flug zu ermöglichen.

Das UAS muss in der Lage sein, eine Flughöhe von mindestens 500 m bei einer Aufstiegsgeschwindigkeit von mindestens 4 m/s und mindestens einer Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h zu erreichen. Das System ist so ausgelegt, dass es bei maximaler Nutzlast und konstantem Wind (20 km/h) mindestens eine Flugzeit von 20 min erreicht. Wie zuvor beschrieben, verfügt das System über eine Ladestation, die vier Akkumulatoren gleichzeitig laden kann. Zur Gewährleistung eines durchgehenden Flugbetriebs stehen sechs Akkumulatoren zur Verfügung. Der Flugbetrieb muss daher nur zum Wechseln des Akkumulators unterbrochen werden.

Die Lebensdauer des Systems wird durch die maximale Lebensdauer der einzelnen Bauteile wie beispielsweise der Motoren begrenzt. Bei dem vorliegenden System sind noch keine Grenzen bezüglich der Lebenszeit der einzelnen Komponenten bekannt. Daher ist derzeit davon auszugehen, dass die Lebenszeit des UAV durch die Weiterentwicklung der UAS-Technik an sich zu definieren ist.

Das UAV ist darauf ausgelegt, den Flugbetrieb bei leichtem Regen (4 l pro m<sup>3</sup> in 1 h) sowie bei leichtem Schneefall aufrechtzuhalten. Der Einsatz des UAV bei einer Windstärke von über 5 Bft (5 Bft entsprechen einer Windgeschwindigkeit von maximal 40,74 km/h) ist aufgrund der Maximalgeschwindigkeit von 50 km/h nicht möglich. Der Temperaturbereich, in dem das System eingesetzt werden darf, beschränkt sich auf -5° C bis maximal 35° C. Der Flugbetrieb in staubigen Atmosphären im Sinne der DIN ISO 60529 ist wegen der gekapselten Bauweise des Monocoques zulässig. Da das System über eine RGB-Kamera mit zuschaltbarem Nachtsichtmodus und eine SERA 3215 konforme Beleuchtung (Positionsleuchten, Zusammenstoß-Warnleuchten etc.) verfügt, kann es unabhängig von der Tageszeit betrieben werden.

Da keine spezifischen Leistungsdaten über das System vorliegen, wird im Folgendem von einem vergleichbaren System ausgegangen. Dabei handelt es sich um das System mit der Bezeichnung Matrice 300 RTK des Herstellers DJI [Anhang 5] [6].

Das System soll von der Feuerwehr Münster NRW-weit eingesetzt werden. Es handelt sich um ein Pilotprojekt und dient neben dem Einsatzdienst der Aus- und Fortbildung von Feuerwehrkräften sowie der Erarbeitung von Einsatzkonzepten. Das Bedienpersonal wird ausschließlich aus Personen mit feuerwehrtechnischer Ausbildung bestehen, die über eine Zusatzqualifikation als Fernpiloten verfügen. Da das UAV laut Ausschreibung nicht über einen Rotorenschutz oder ein collision avoidance system (System zur automatischen Kollisionsvermeidung) verfügt, ist es

ausschließlich für den Gebrauch außerhalb von Gebäuden konzipiert, zudem ist in der Nähe von Hindernissen wie Bäumen, Gebäuden oder Brückenpfeilern besondere Vorsicht geboten.

Die bestimmungsgemäße Verwendung des UAS ist grundsätzlich die Unterstützung von BOS durch videografische und thermografische Luftaufnahmen des Einsatzgebietes. Speziell beim IdF NRW wird das System verwendet, um anhand von farbigen Live-Bildern aus der Luft die Einsatzleitung bei der initialen Lageerkundung sowie im Verlauf des Einsatzes zu unterstützen. Sämtliche erzeugte Bilder, egal ob Foto- oder Videografien, Live-Bild oder thermografische Darstellungen, werden durch einen Videooperator vorgesichtet, relevante Ausschnitte hervorgehoben und anschließend an die Einsatzleitung und gegebenenfalls an den Krisenstab weitergeleitet. Neben der Lageerkundung wird das System zur Suche nach vermissten Personen und Tieren, zum Aufdecken von Glutnestern, heißen Gasen und anderen exothermen Reaktionen verwendet.

Neben dem Einsatzdienst wird das UAS zur Übung von im Einsatz notwendigen Fähigkeiten bezogen auf den Umgang mit dem System in sicheren Bereichen verwendet.

Das UAS darf nicht für folgende Zwecke verwendet werden:

- Das UAS darf nicht als Transportmittel oder zum Anheben von Lasten verwendet werden, selbst wenn die maximale Nutzlast nicht überschritten wird.
- Das UAS darf nicht in Bereichen wie Innenräumen oder Flugverbotszonen, in denen zum Zeitpunkt des Einsatzes Flugbetrieb herrscht, verwendet werden.
- Ohne montierten Fallschirm darf das UAS keine Menschenansammlungen überfliegen.
- Das UAS darf nicht zur Innenraumerkundung verwendet werden.
- Das UAS darf unter keinen Umständen in Explosionsbereichen betrieben werden.
- Am UAS dürfen keine Anbauteile, außer den vom Hersteller zugelassenen, montiert werden.
- Es dürfen keine Schutzeinrichtungen demontiert werden.
- Das UAS darf nicht zur Unterhaltung, Wettrennen, Wartung/Pflege der Liegenschaft oder für Kunstflüge eingesetzt werden.
- Das UAS darf nicht zur Ventilation an der Einsatzstelle eingesetzt werden.
- Das UAV darf nicht als tragbare Wärmebildkamera verwendet werden.

### 3.2 Identifizierung der Gefährdungen

In der DIN EN ISO 12100:2010 ist geregelt, dass „der wichtigste Schritt bei jeder Risikobeurteilung einer Maschine in der systematischen Identifizierung vernünftigerweise vorhersehbarer Gefährdungen (dauerhaft vorhandene Gefährdungen und solche, die unerwartet auftreten können), Gefährdungssituationen und/oder Gefährdungsereignisse in sämtlichen Phasen der Lebensdauer der Maschine“ liegt [15]. Der zentrale Bestandteil dieser Aussage bezieht sich auf die Notwendigkeit einer Systematik, um ein System in seiner Gesamtheit über sämtliche Lebensdauerphasen hinweg zu betrachten. Es gilt eine Systematik zu entwickeln, um sicherzustellen, dass sämtliche Gefährdungen, Gefährdungssituationen und/oder Gefährdungsereignisse über den gesamten Lebenszyklus identifiziert werden. Vor diesem Hintergrund dienen in der vorliegenden Risikobeurteilung die einzelnen Lebensdauerphasen des Systems als chronologischer Leitfaden zur Orientierung. Dementsprechend erfolgte zu Beginn der Identifizierung der Gefährdungen die Definition folgender Lebensdauerphasen [siehe Anhang 6]: die Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten, die Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft, der Transport zur Einsatzstelle, die Inbetriebnahme am Einsatzort, der Einsatz vor Ort sowie die Wartung und Instandhaltung. Die Lebensdauerphasen schließen mit der Entsorgung des Systems ab.

Zur Identifizierung der Gefährdungen wurde eine Excel-Tabelle erstellt, in der in chronologischer Reihenfolge sämtliche Gefährdungen erfasst wurden. Wie bereits erklärt, basiert die chronologische Reihenfolge auf den definierten Lebensdauerphasen. Zudem wurden Gefährdungsbereiche definiert, die sich auf Orte beziehen, an denen das System gelagert, transportiert, geladen und betrieben wird. Wichtig sind diese vor allem, da sie maßgeblich für die Identifizierung der Personengruppen sind, die sich im Gefährdungsbereich aufhalten können. Die Spalte der Gefährdungssituation unterteilt sich in die Personengruppen und deren Tätigkeiten zu dem Zeitpunkt, zu dem sie einer Gefährdung ausgesetzt sind. Dies ist relevant, da verschiedene Personengruppen im Feuerwehreinsatz über unterschiedliche Schutzausrüstungen verfügen. So ist beispielsweise der Kopf einer Feuerwehrfrau/eines Feuerwehrmannes bei Löscharbeiten besser geschützt als der einer Mitarbeiterin/eines Mitarbeiters der Polizei, die/der die Unfallstelle gegen den nachfolgenden Verkehr sichert. Häufig bedingt der Gefährdungsbereich die zu erwartenden Personengruppen und deren Tätigkeiten. Ferner wurde in der nächsten Spalte die Gefährdung im Hinblick auf die Art der Verletzung aufgeführt. In der darauffolgenden Spalte steht das Gefährdungsereignis, ergo die Kausalkette, die zu der Gefährdung führen kann. Diese umfasst verschiedene Umstände, die zum Gefährdungsereignis und folglich zu der Verletzung führen können. Jeder identifizierten Gefährdung wurde automatisch eine fortlaufende Referenznummer

zugeordnet, damit eine problemlose und nachvollziehbare Übertragung auf die Risikobeurteilung möglich ist.

Zur Identifizierung der Gefährdungen wurde der sogenannte Top-Down-Ansatz verfolgt. Hierfür wurden zu erwartende Schäden identifiziert und auf deren Ursache geschlossen. Ausgangspunkt bilden zwei Checklisten aus der ISO 12100:2010 [15]. Diese beinhalten Beispiele für mögliche Schäden sowie Ursachen. Entsprechend jeder Lebensphase wurden sämtliche Gefährdungsgruppen der Tabellen B.1 und B.2 aus der ISO 12100:2010 systematisch abgearbeitet und in die Tabelle eingetragen [15]. Zusätzliche Gefährdungen wurden mithilfe eines Brainstormings von einer Expertengruppe, die aus Feuerwehrkräften des IdF bestand, ergänzt.

Im Folgenden wird kurz erläutert, welche Tätigkeiten jede Lebensdauerphase umfasst und es werden beispielhafte Gefährdungssituationen, Gefährdungen sowie Gefährdungsereignisse genannt. Ursprünglich wurde die erste Lebensdauerphase als Erstinbetriebnahme definiert. Grund dafür war der Plan des IdF, das System erstmalig durch seine Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter unter Anleitung des Herstellers in Betrieb zu nehmen. Daran anschließend wird die Ausbildung neuer Fernpilotinnen und Fernpiloten beginnen. Nach vollständiger Betrachtung der Lebensdauerphasen der Erstinbetriebnahme sowie der Ausbildung von Fernpiloten fiel auf, dass diese sich in sämtlichen Punkten gleichen, da jeweils eine Fernpilotin/ein Fernpilot von einer erfahrenen Person (Hersteller oder Ausbilder/in) auf ein ihr/ihm unbekanntes System geschult wird. Aus diesem Grund wurden beide Lebensdauerphase unter der Bezeichnung Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten zusammengefasst. Eine Gefährdung während der Ersteinweisung und Ausbildung entsteht beispielsweise durch die Möglichkeit eines Anpralls an den ungeschützten Kopf einer Person aufgrund eines Pilotenfehlers bedingt durch die fehlende Erfahrung der Fernpilotin/des Fernpiloten mit dem System.

Auf die Phase der Ersteinweisung folgt die Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft. Das UAV sowie das restliche System wird so gelagert, dass die Einsatzbereitschaft zu jeder Zeit sichergestellt ist. Dazu gehört das Wiederaufladen beziehungsweise die Ladeerhaltung der Akkumulatoren des UAV sowie der Steuereinheiten. Zudem werden eventuelle Reinigungsarbeiten in dieser Lebensdauerphase durchgeführt. Eine mögliche Gefährdung besteht in einer Brandverletzung einer Feuerwehrfrau/eines Feuerwehrmannes aufgrund des thermischen Durchgehens eines mechanisch beschädigten Akkumulators.

Der Transport des Systems schließt sämtliche Einsatzfahrten, Rückfahrten und sonstige Verlegungen des Systems mit ein. Sollte ein Akkumulator währenddessen thermisch durchgehen,

besteht ein hohes Risiko eine Brandverletzung zu erleiden. Die Höhe des Risikos resultiert aus der unmittelbaren Nähe zum UAS, in der sich die Fahrzeuginsassen während des Transports befinden.

Die Inbetriebnahme am Einsatzort beinhaltet sämtliche Maßnahmen, die nötig sind, bevor eine Mission gestartet werden kann. Dies schließt das Einlegen der Akkumulatoren, Herstellen sämtlicher Funkverbindungen, Durchführung sämtlicher Vorflugkontrollen bis hin zur Kontrolle der Flugfunktionen nach dem Start vor der Mission ein. Im Rahmen der Inbetriebnahme am Einsatzort kann es aufgrund der dort gegebenen Lautstärke der Einsatzstelle selbst oder wegen der Lautstärke der Rotoren des UAV bei Manövern in Bodennähe zu Verständigungsproblemen und Störungen von akustischen Signalen kommen. Dies ist besonders kritisch bei der Weitergabe von essentiellen Befehlen/Aussagen wie der Starterlaubnis oder der akustischen Wiedergabe des Flugmodus seitens des Systems. Es besteht die Möglichkeit, dass es in Folge der Störung der Sprachkommunikation zwischen Fernpilotin/Fernpilot und Luftraumbeobachterin/Luftraumbeobachter zu einer Kollision mit einem Objekt in der Luft und anschließendem Absturz des Systems mit Anprall an einer Person kommt.

Der Zeitraum des Einsatzes beginnt nach der Inbetriebnahme am Einsatzort und endet nach erfolgreich durchgeführter Mission mit der Überführung des Systems in einen sicheren Zustand und dessen Verlastung auf dem Fahrzeug. Eine vom Expertenteam identifizierte Gefährdung während des Einsatzes ist ein Kurzschluss, der unter anderem aufgrund einer mechanischen Beschädigung des Akkumulators zwischen zwei Zellen auftreten kann. Dies setzt eine Kettenreaktion in Gang, die das thermische Durchgehen, ergo das Abbrennen des Akkumulators zur Folge hat. Ursachen der mechanischen Beschädigung des Akkumulators kann ein Sturz des Akkumulators vor dem Einlegen in das UAV mit verzögerter chemischer Reaktion sein oder ein Bruch der Außenhülle aufgrund einer Penetration als Folge eines Absturzes.

Bevor das System wieder in den Lebensabschnitt der Lagerung und Sicherung der Einsatzbereitschaft überführt werden kann, muss die Einsatzbereitschaft erst wiederhergestellt werden. Dies kann noch am Einsatzort geschehen, bevor das System in einen sicheren Zustand überführt wird. Sollten jedoch Wartungen oder Reparaturen nötig sein, werden diese bei geringem Ausmaß vom Fachpersonal auf der Feuerwache und bei größerem Ausmaß vom Hersteller durchgeführt. Während der Wartung besteht die Möglichkeit, dass sich die für die Wartung zuständige Person aufgrund des Kontaktes zu den scharfen Kanten der Rotoren eine Schnittverletzung zuzieht.

Der Lebensabschnitt der Entsorgung des Systems wird in dieser Arbeit nicht weiter betrachtet, da lediglich die Akkumulatoren bei der Entsorgung ein Gefahrenpotential aufweisen und diese durch

das IdF fachgerecht und fachmännisch im entladenen Zustand entsorgt werden. Wie genau Lithium-Ionen-Akkumulatoren fachgerecht und fachmännisch zu entsorgen sind, ist den Herstellerangaben zu entnehmen.

Sämtliche Lebensabschnitte bis auf die Entsorgung des Systems wiederholen sich im Alltag. Änderungen in der Reihenfolge sind ebenfalls möglich. So kann beispielsweise auf die Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft anstelle des Transportes zur Einsatzstelle direkt die Inbetriebnahme am Einsatzort folgen, da es sich bei der Mission um einen Trainingsflug handelt und sich der Einsatzort auf dem Gelände des IdF befindet. Ebenso kann aufgrund einer längeren Lagerzeit auf die Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft eine Wartung und Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft folgen, ohne dass das UAS verwendet wurde.

Weitere mögliche Gefährdungen können der Tabelle aus Anhang 6 entnommen werden. Viele Gefährdungen erscheinen in Kombination mit den dazugehörigen Gefährdungsereignissen über mehrere Lebensdauerphasen deckungsgleich. Der relevante Unterschied liegt im Gefährdungsbereich und der daraus resultierenden Personengruppe. In der Risikoeinschätzung wird die Kombination aus Gefährdung und Gefährdungsereignis immer in Bezug auf den Gefährdungsbereich und die betroffene Personengruppe beurteilt. Zu bedenken ist, dass nicht jede Risikominderung wie beispielsweise das bereits erwähnte Tragen einer persönlichen Schutzausrüstung (PSA) für sämtliche Personengruppen anwendbar ist.

### **3.3 Risikoeinschätzung**

Die DIN ISO/TR 14121-2 definiert die Grundelemente des Risikos als das Schadensausmaß und die Eintrittswahrscheinlichkeit mit der es zu einem Schaden kommt [16]. In der Risikobeurteilung werden ausschließlich Gefährdungen betrachtet, bei denen die Unversehrtheit des menschlichen Körpers beeinträchtigt wird. Somit ist immer, wenn von einem Schaden die Rede ist, die Verletzung eines Menschen gemeint und nicht beispielsweise ein technischer Schaden an oder in einem System. Ferner muss zwischen zwei Arten von Gefährdungen unterschieden werden. Zum einen gibt es Gefährdungen, „die zu akutem plötzlich auftretendem Schaden (wie z. B. Schnitte, Frakturen, Amputationen, kurzfristige Erkrankungen der Atemwege) führen.“ [16] Des Weiteren existieren Gefährdungen, die erst zu einer Gefährdung führen, wenn der/die Betroffene dieser über einen längeren Zeitraum ausgesetzt ist. In der hier vorliegenden Risikoeinschätzung beziehungsweise der Identifizierung der Gefährdungen wurden aufgrund des zeitlichen Rahmens und dem Umstand, dass dies Teil einer Bachelorarbeit ist und somit nicht in einem Team bestehend aus mehreren Experten erarbeitet werden konnte, nur Gefährdungen betrachtet, die zu einem plötzlichen Schaden direkt durch das System führen können. Dementsprechend fehlen ebenfalls

Gefährdungen, deren Ursachen durch das UAV ausgelöst wurden. Ein Beispiel wäre die Kollision des UAV mit einem Rettungshubschrauber, die zu dem Absturz des Hubschraubers und einer Schädigung der Insassen führt. Ein weiteres Beispiel stellt der Absturz des UAV mit anschließender Brandausbreitung und daraus resultierendem Personenschaden dar. Ebenfalls werden Faktoren wie Sabotage nicht betrachtet.

Das BBK empfiehlt, eine Risikomaßzahl aus einer Kombination bestehend aus der Eintrittswahrscheinlichkeit und dem Schadensausmaß zu bilden. Die beiden als Grundlage verwendeten Normen, DIN EN ISO 12100 und DIN ISO/TR 14121-2, geben wiederum verschiedene Möglichkeiten zur Bewertung von Risiken an. Diese Arbeit greift entsprechend der Normen auf eine detaillierte Bewertung zurück. Die Eintrittswahrscheinlichkeit wird nachfolgend unterteilt in die Häufigkeit, Wahrscheinlichkeit und Vermeidbarkeit.

In der Kopfzeile der Tabelle zur Risikoeinschätzung befindet sich neben den beteiligten Personen, der Versionsnummer und dem Datum, eine Auflistung sämtlicher Parameter, die zur Berechnung des Risikolevels (engl. Risk Level), abgekürzt Risk, bewertet werden müssen.

Beginnend mit der Auswirkung (engl. Severity), abgekürzt Se, ist diese in vier Stufen unterteilt. Verletzungen, die reversibel sind, fallen in Kategorie eins und zwei, abhängig davon, ob Erste-Hilfe-Maßnahmen zur Behandlung ausreichen oder eine weiterführende medizinische Versorgung nötig ist. In Kategorie drei fallen Verletzungen, die eine weiterführende medizinische Versorgung erfordern, deren Folgen jedoch irreversibel sind wie beispielsweise der Verlust von Fingern. Kategorie vier umfasst schwerste Verletzungen wie den Verlust eines Auges oder eines Arms bis hin zum Tod des Betroffenen. Die Unterteilung der Auswirkungsklassen in reversible und irreversible Verletzungen sowie der Grad der medizinischen Versorgung, der zur Behandlung solcher Verletzung gefordert ist, bietet sich gerade in dieser Risikobeurteilung an, da jede Person, die an der Bewertung beteiligt ist, mindestens über die Qualifikation eines Rettungssanitäters beziehungsweise Rettungsassistenten verfügt. Bei der Einschätzung des Schadensausmaßes wird immer von dem schlimmstmöglichen Fall ausgegangen (engl. worst case).

Die Häufigkeit, abgekürzt Fr (engl. Frequency), bezieht sich entsprechend der Norm auf „das mittlere Zeitintervall zwischen der Häufigkeit der Exposition und deren Dauer“ [16]. Eine zeitliche Einordnung bezogen auf ein Jahr, wie es die Norm vorschlägt, ist in diesem konkreten Fall nur sehr schwer möglich. Grund dafür ist die Unvorhersehbarkeit der Einsätze der Feuerwehr. Es kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, wie häufig das betrachtete System bezogen auf ein Jahr eingesetzt wird und somit der Anwender der Gefährdung ausgesetzt ist. Ebenso sind die Laufzeiten des Systems bezogen auf ein Jahr fast nicht zu bestimmen, da diese nicht nur von der Anzahl der

Einsätze abhängig sind, sondern ebenfalls von der individuellen Einsatzdauer. Aus diesem Grund wurde eine Einteilung gewählt, die leichter auf Grundlage von Erfahrungswerten geschätzt werden kann. Diese Einteilung bezieht sich nicht auf die Häufigkeit der Exposition bezogen auf ein Jahr, sondern bezogen auf ein Zeitintervall, das einem Einsatz mit mittlerer Einsatzdauer von zwei bis vier Stunden entspricht. Der niedrigste Wert, der bei der Häufigkeit vergeben werden kann, besitzt eine Wertigkeit von zwei. Somit wird hier ebenso wie in der Norm der Häufigkeit der Exposition ein höherer Stellenwert bei der Berechnung der Risikoklasse beigemessen als der Wahrscheinlichkeit und der Vermeidbarkeit.

Die Wahrscheinlichkeit, abgekürzt Pr (engl. Probability), bezieht sich auf die Eintrittswahrscheinlichkeit mit der es zu einem Gefährdungsereignis kommt. Diese wird in fünf umgangssprachliche Kategorien zum vereinfachten Verständnis von vernachlässigbar bis hin zu sehr hoch unterteilt.

Die Vermeidbarkeit, abgekürzt Av (engl. Avoidance), „ist die Möglichkeit, den Schaden zu vermeiden oder zu begrenzen“ [16]. Ein wichtiger Punkt ist beispielsweise, ob das System von fachkundigem Personal bedient wird, das mit dem System vertraut ist und über ein geschultes Gefahrenbewusstsein verfügt. Ebenfalls wird hier bewertet, wie schnell ein Schaden auftritt und ob das Personal über die Fähigkeiten und zeitliche Möglichkeit verfügt, diesen abzuwenden.

Wie in der Identifizierung der Gefährdungen beschrieben, wird jeder Gefährdung eine Referenznummer (Ref. Nr.) zugeordnet, um sicherzustellen, dass die jeweilige Beurteilung immer eindeutig zuordenbar ist. In der Tabelle der Risikoeinschätzung ist aus diesem Grund zur Erleichterung der Orientierung innerhalb der Tabelle die Ref. Nr. in der ersten sowie in der vorletzten Spalte vor dem Kommentarfeld angegeben. Das Kommentarfeld bietet die Möglichkeit, bei Bedarf Erklärungen und Gedankengänge festzuhalten, die zu dem entsprechenden Ergebnis geführt haben. Die Spalten Gefährdung und Gefährdungsereignis sind mit den entsprechenden Spalten aus der Tabelle der Identifizierung der Gefährdungen verknüpft, um Übertragungsfehler auszuschließen. Zusätzlich dient die erneute Aufführung der beiden Spalten in der Tabelle zur Risikoeinschätzung der einfacheren Handhabung, um häufiges Wechseln zwischen den Tabellen zu vermeiden und folglich Fehler zu minimieren.

In der Excel-Tabelle zur Risikoeinschätzung wird die Summe bestehend aus der Häufigkeit, der Wahrscheinlichkeit und der Vermeidung über die Funktion „SUMME“ gebildet und in der Spalte „Klasse“, abgekürzt Cl (engl. Class), hinterlegt. Der niedrigste Wert ( $Cl = 4$ ), der in der Klasse erreicht werden kann, wird bei einer seltenen Häufigkeit (Wert 2), einer vernachlässigbaren Wahrscheinlichkeit (Wert 1) und einer wahrscheinlichen Vermeidung (Wert 1) gebildet. Der



höchste Wert wird bei einer ständigen Häufigkeit (Wert 5), einer sehr hohen Wahrscheinlichkeit (Wert 5) und einer unmöglichen Vermeidung (Wert 5) erreicht (CI = 15). Nach der Bestimmung der Klasse kann anhand der Tabelle im Tabellenkopf das Risikolevel abgelesen werden. Um das Arbeiten mit der Excel-Tabelle zu vereinfachen und um die Wahrscheinlichkeit menschlicher Fehler bei der Berechnung des Risikolevels zu minimieren, wurde in der Spalte „Risk“ eine verschachtelte Funktion hinterlegt, die anhand der errechneten Klasse und dem Schadensausmaß automatisch das Risikolevel als Wort „GRÜN“, „GELB“ und „ROT“ angibt. Zudem wurde zur Verbesserung der Lesbarkeit eine bedingte Formatierung hinterlegt, die die Zelle des Risikolevels entsprechend der Farbe einfärbt. Die Tabelle zur Bestimmung des Risikolevels [siehe Anhang 7] nach DIN ISO/TR 14121-2 wurde in Form einer Funktion abgebildet. Diese setzt sich aus der Spalte G (Auswirkung) und der Spalte K (Risikoklasse) zusammen. Die Funktion führt eine Wahrheitsabfrage in Form einer WENN-Bedingung durch und prüft, ob die entsprechenden Bedingungen für „ROT“, „GELB“ oder „GRÜN“ erfüllt werden.

```
=WENN(ODER(UND(G11=1;ODER(K11=11;K11=12;K11=13));UND(G11=2;ODER(K11=8;K11=9;K11=10));UND(G11=3;ODER(K11=5;K11=6;K11=7));UND(G11=4;K11=4));"GELB";WENN(ODER(UND(G11=1;ODER(K11=4;K11=5;K11=6;K11=7;K11=8;K11=9;K11=10));UND(G11=2;ODER(K11=4;K11=5;K11=6;K11=7));UND(G11=3;K11=4));"GRÜN";WENN(ODER(UND(G11=1;ODER(K11=14;K11=15));UND(G11=2;ODER(K11=11;K11=12;K11=13;K11=14;K11=15));UND(G11=3;ODER(K11=8;K11=9;K11=10;K11=11;K11=12;K11=13;K11=14;K11=15));UND(G11=4;ODER(K11=5;K11=6;K11=7;K11=8;K11=9;K11=10;K11=11;K11=12;K11=13;K11=14;K11=15))));"ROT";""))
```

Um das erste der vier gelben Kästchen der Tabelle darzustellen, prüft die Funktion zunächst, ob die Zelle G11 (Se der Ref. Nr. 1) einem Wert von 1 entspricht. Ist dies der Fall, wird in der darauffolgenden UND-Funktion überprüft, ob die Bedingung K11 (CI der Ref. Nr 1) entweder 11, 12 oder 13 ist. Ist dies wahr, gilt die Bedingung als erfüllt (TRUE) und die Funktion gibt den String „GELB“ aus. Sollte die Zelle G11 nicht den Wert 1 haben oder die Bedingung für K11 nicht erfüllt werden, so ist die Bedingung nicht erfüllt (FALSE) und die Funktion springt zur nächsten Wahrheitsabfrage. In diesem konkreten Fall wird geprüft, ob G11 den Wert 2 hat und ob K11 einem Wert von 8, 9 oder 10 entspricht. Trifft dies zu (TRUE), so wird ebenfalls der String „GELB“ ausgegeben. Sollte dies nicht der Fall (FALSE) sein, so springt die Funktion erneut zur nächsten Abfrage.

Bei der Wahrheitsabfrage der Bedingungen für die Ausgaben „GRÜN“ und „GELB“ bot es sich an, diese zeilenweise über eine längere ODER-Bedingung zusammenzufassen, anstatt diese, wie

oben beschrieben, kästchenweise auszuführen. Im Anhang 8 befindet sich eine beschreibende Darstellung des oben aufgeführten Codes.

Der Code könnte optimiert werden, indem die ODER-Funktion aufgelöst und ein Intervall als zwei weitere Bedingungen in der UND-Funktion ergänzt würde. Daraus würde sich Folgendes ergeben:

Vorher:

```
ODER(UND(G11=1;ODER(K11=4;K11=5;K11=6;K11=7;K11=8;K11=9;K11=10));
UND(G11=2;ODER(K11=4;K11=5;K11=6;K11=7));UND(G11=3;K11=4))
```

Nachher:

```
ODER(UND(G11=1;K11>=4;K11<=10);UND(G11=2;K11>=4;K11<=7);UND(G11=3;K11
=4))
```

Aus Gründen der Nachvollziehbarkeit und zur Verbesserung der Lesbarkeit wurde darauf jedoch verzichtet.

Die Multicodalität vereinfacht die Verständlichkeit und reduziert die Fehleranfälligkeit beim Ablesen des Risikolevels. Bei der Einteilung der Risikolevel wurde auf eine numerische Bezeichnung der Level verzichtet und aufgrund des intuitiveren Verständnisses eine Unterteilung der Level in Grün, Gelb und Rot gewählt. Das Risikolevel gibt an, welche Gefährdungen ein geringes Risiko (GRÜN), ein noch tolerierbares Risiko (GELB) und ein nicht tolerierbares Risiko (ROT) aufweisen. Um sicherzustellen, dass die Gleichung nicht die Ursache von Fehlern ist, wurde jede Kombination bestehend aus der Auswirkung und der Risikoklasse noch einmal per Hand validiert. Jedoch ist es möglich, dass es zu Fehlern durch den Anwender aufgrund der Eingabe falscher Zahlen wie zum Beispiel einer Häufigkeit  $Fr = 1$  oder Vermeidbarkeit  $Av = 2$  kommt.

Das Risikolevel bestimmt, ob die entsprechende Gefährdung einer Risikominderung bedarf. Sämtliche nicht tolerierbaren Risiken müssen gemindert werden. Bei Risiken mit einem noch tolerierbaren Risiko sollte genau betrachtet werden, inwiefern eine Minderung des Risikos sinnvoll ist. Gefährdungen mit tolerierbarem Risiko bedürfen keiner Minderung.

Bei der Risikoeinschätzung [siehe Anhang 7] wird davon ausgegangen, dass sich die Nutzer nicht an die BBK-Empfehlungen halten und der Fallschirm ebenfalls nicht am UAS angebracht wurde. Vor diesem Hintergrund zeigt die Risikoeinschätzung deutlich, dass von dem UAV allgemein ein großes Gefährdungspotenzial für sämtliche Gefährdungsgruppen ausgeht. Insbesondere der Anprall und der Absturz führen zu einem nicht tolerierbaren Risikolevel. Ursache dafür ist das Gewicht des UAV in Kombination mit der hohen Geschwindigkeit, die es während des Fluges

erreichen kann. Ferner weist das potenzielle thermische Durchgehen der Akkumulatoren durch sämtliche Lebensdauerphasen hinweg ein nicht tolerierbares Risikolevel auf. Schnell bewegende Rotoren stellen verhältnismäßig eine etwas geringere Gefährdung dar, da das zu erwartende Verletzungsmuster weder zum Tod noch zur Amputation von Extremitäten führt. Dennoch ergibt sich meist ein nicht tolerierbares Risiko.

### 3.4 Risikominderung

Das Ziel der Risikominderung ist immer die Beseitigung einer Gefährdung. Sollte dies nicht möglich sein, ist das Schadensausmaß und/oder die Eintrittswahrscheinlichkeit zu reduzieren. Zur Risikominderung wird typischerweise ein „Drei-Stufen-Verfahren“ angewandt [15]. Dies beginnt mit der inhärent sicheren Konstruktion, bei der durch konstruktive Maßnahmen versucht wird, ein System so zu konstruieren, dass erst gar nicht die Möglichkeit besteht sich an oder mit diesem zu verletzen. Wäre es möglich ein UAV so zu konstruieren, dass der zum Fliegen benötigte Auftrieb oder Schub nicht über schnell laufende Rotoren, sondern beispielsweise durch ein Düsentriebwerk erzeugt werden würde, so könnte die Gefährdung (Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen), die durch die Rotoren besteht, konstruktiv beseitigt werden. Dies ist, wie das Beispiel zeigt, nicht immer sinnvoll oder möglich. Generell muss vermieden werden, dass durch eine konstruktive Beseitigung einer Gefährdung eine neue und vielleicht sogar schwerwiegendere Gefährdung entsteht.

Gibt es nicht die Möglichkeit zur konstruktiven Beseitigung einer Gefährdung, so muss durch ergänzende technische Schutzmaßnahmen das Schadensausmaß oder die Wahrscheinlichkeit gesenkt werden. So könnten beispielsweise die Rotoren mit einem Käfig umgeben werden, der das Eingreifen in den Rotor erschwert. So wäre die Wahrscheinlichkeit von Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzung minimal.

Ist eine Minimierung des Schadensausmaßes oder der Wahrscheinlichkeit durch ergänzende technische Schutzmaßnahmen nicht möglich oder nicht sinnvoll (z. B. Überschreiten der zulässigen Startmasse durch einen geeigneten Rotorschutz), so muss das Schadensausmaß oder die Wahrscheinlichkeit durch organisatorische Maßnahmen gesenkt werden. Organisatorische Maßnahmen können beispielsweise Handlungsanweisungen, Anweisungen wie das Tragen einer PSA oder Schulungen des Personals, das mit dem System arbeitet, sein. Sind all diese Möglichkeiten zur Eliminierung einer Gefährdung, Reduzierung des Schadensausmaßes oder der Wahrscheinlichkeit nicht möglich, so ist abzuwiegen, ob das System überhaupt zumutbar ist.

Nach durchgeführter Risikominderung ist eine erneute Risikoeinschätzung zur Bewertung der ergriffenen Maßnahmen notwendig. Besonderes Augenmerk ist, wie bereits erwähnt, darauf zu legen, dass durch das Ergreifen der Maßnahmen keine weiteren Gefährdungen geschaffen wurden. Ist dies der Fall, so sind die neuen Gefährdungen ebenfalls in die Risikoeinschätzung aufzunehmen und zu bewerten.

Die Risikominderung im Rahmen dieser Bachelorarbeit konzentriert sich auf die Minderung der Gefahren, die von Akkumulatoren ausgehen. Ferner werden einige allgemeine Punkte zur Risikominderung vorgegeben.

### **3.4.1 Risiko und Risikominderung bei Lithium-Akkumulatoren**

Grundlegend bestehen Akkumulatoren aus mehreren Einzelzellen. Diese werden seriell zur Steigerung der Spannung oder parallel zur Steigerung der Kapazität miteinander verbunden. Durch eine entsprechende Verschaltung der einzelnen Zellen kann jede gewünschte Spannung und Kapazität erreicht werden. Lithium-Akkumulatoren werden in primäre (nicht wiederaufladbare) und sekundäre (wiederaufladbare) Akkumulatoren unterteilt. Im Folgenden werden nur sekundäre Lithium-Akkumulatoren betrachtet, da nur diese in der UAS-Technologie Anwendung finden [9].

Jeder Akkumulator besteht aus einer Anode und einer Kathode, die über einen elektrisch nicht leitenden Separator voneinander getrennt sind. Bei der Anode der Lithium-Akkumulatoren handelt es sich häufig um eine Kupferfolie, auf die Graphit aufgetragen wurde. Die Kathode besteht meist aus einer dünnen Aluminiumfolie. Der Bereich um Anode und Kathode ist mit einem Elektrolyten aufgefüllt. Bei dem Elektrolyten handelt es sich meist um ein Gemisch aus wasserfreien Lösungsmitteln, in dem Leitsalze wie Lithiumhexafluorophosphat ( $\text{LiPF}_6$ ) zur Steigerung der elektrischen Leitfähigkeit gelöst wurden [9, 18]. Auf Seiten der Kathoden existieren große Unterschiede bei deren chemischer Zusammensetzung. Unterschieden wird zwischen Schichtoxiden, Spinellen und Phosphaten. Wichtig zu wissen ist, dass diese drei Gruppen unterschiedlich schnell in den Zustand des thermischen Durchgehens geraten können. Schichtoxide gelten als die aggressivsten Kathodenmaterialien, Phosphate hingegen als diejenigen mit der moderatesten Reaktion. Grund für die unterschiedliche Reaktionsfreudigkeit der verschiedenen Kathodenmaterialien ist ihr jeweiliges Sauerstoffpotential [9, 18]. Neben dem Material der Kathode beeinflusst der Ladezustand (engl. SoC, State of Charge) das Sauerstoffpotential der einzelnen Zelle. Zellen mit einem geringen SoC haben ein niedrigeres Sauerstoffpotential als Zellen, die voll aufgeladen sind. Hauptbestandteil des Elektrolyten bilden Lösungsmittel. Lösungsmittel, die in Lithium-Akkumulatoren enthalten sein können, sind vielfältig. In den meisten Akkumulatoren sind jedoch Kombinationen aus mehreren Lösungsmitteln enthalten. Die verwendeten Lösungsmittel sind grundsätzlich immer brennbar. Interessant aus Feuerwehrsicht sind die unterschiedlichen Siede- und Flammpunkte der eingesetzten Materialien. Ethylencarbonat beispielsweise hat eine Siedetemperatur von 248 °C und einen Flammpunkt von 160 °C. Ethylmethylcarbonat hingegen wechselt bereits bei 108 °C in den gasförmigen Zustand und erreicht bereits bei 23 °C seinen Flammpunkt [9, 18]. Sollten nun

beide Elektrolyte auslaufen, erreicht Ethylmethylcarbonat im Gegensatz zu Ethylencarbonat bereits bei Zimmertemperatur seinen Flammpunkt.

Weitere Bestandteile des Lösungsmittels sind die sogenannten Leitsalze. Das am häufigsten eingesetzte Leitsalz ist Lithiumhexafluorophosphat ( $\text{LiPF}_6$ ). Die GHS-Kennzeichnung (GHS05, GHS06, GHS08) von Lithiumhexafluorophosphat zeigt, dass dieses nicht nur ätzend, sondern zudem giftig und gesundheitsschädlich ist [20]. Sollten eine oder mehrere Zellen beschädigt sein, so besteht neben der Brandgefahr zusätzlich immer eine Vergiftungsgefahr.

Zur Veranschaulichung der chemischen Abläufe beim Lade- und Entladevorgang wird eine Lithium-Ionen-Zelle betrachtet, deren Pluspol aus Aluminium besteht, auf der Lithium-Cobaltdioxid ( $\text{LiCoO}_2$ ) als Kathodenmaterial aufgetragen ist. Die Anode besteht aus einer Kupferfolie, auf der eine Grafitsschicht aufgetragen wurde. Im Ladevorgang wandern Lithium-Ionen ( $\text{Li}^+$ ) durch den Separator zur Anode und bilden dort Lithiumcarbit ( $\text{Li}_x\text{C}_6$ ). Die Folge ist, dass das Kathodenmaterial an Lithium-Ionen verarmt und sich Cobaltdioxid ( $\text{CoO}_2$ ) bildet. Bei Cobaltdioxid handelt es sich um einen brandfördernden Stoff. Somit kann gesagt werden, je höher der SoC einer Zelle ist, desto mehr Cobaltdioxid wurde gebildet. Je mehr Cobaltdioxid in einer Zelle existiert, desto größer ist ihr Sauerstoffpotential. In der Rückreaktion, oxidiert Lithium auf Seiten der Kathode wieder zu Lithium-Cobaltdioxid ( $\text{LiCoO}_2$ ). Indem der brandfördernde Stoff  $\text{CoO}_2$  wieder mit Lithium gebunden wird, sinkt das Sauerstoffpotential der Zelle. Es ist davon auszugehen, dass erst ab einem SoC von über 25 Prozent so viel Cobaltdioxid freigesetzt wurde, dass mit einer Brandgefahr des Akkumulators zu rechnen ist [18].

Unter dem thermischen Durchgehen (engl. Thermal runaway) eines Akkumulators wird das unkontrollierte Freisetzen von Energie, ergo das Bersten und Zünden einer oder mehrerer Zellen verstanden [18]. Ursache für das thermische Durchgehen einer Zelle kann entweder eine zu große thermische, mechanische oder elektrische Belastung sein [9]. Sobald eine Zelle in den Zustand des thermischen Durchgehens übergeht, wird aufgrund der enormen freigesetzten Hitze eine Kettenreaktion innerhalb des Akkumulators ausgelöst.

Aus feuerwehrtechnischer Sicht besitzen Lithium-Ionen-Akkumulatoren ein großes Gefährdungspotenzial aufgrund der freigesetzten Energie, der Möglichkeit zur Brandausbreitung und der Gefahr der Vergiftung. Sie sind zudem besonders schwer zu löschen, da der zur Verbrennung benötigte Sauerstoff in der Zelle selbst in Form des  $\text{CoO}_2$  vorhanden ist und nicht über ein Löschmittel entzogen werden kann. Zudem kann der Brand durch die Reduzierung des brennbaren Stoffes nur schwer oder gar nicht eingedämmt werden. Um den Brand eines Lithium-Ionen-Akkumulators zu löschen, besteht lediglich die Möglichkeit diesem die zur Verbrennung

nötige Temperatur durch das Aufbringen von Löschmittel zu entziehen. Dies ist ebenfalls nicht immer ohne Weiteres möglich, da die Verbrennungstemperatur eines Lithium-Ionen-Akkumulators ca. 2.000 °C beträgt [7] und jede einzelne Zelle hermetisch abgeriegelt ist. Akkumulatoren, die in UAS verwendet werden, haben jedoch den Vorteil, dass diese relativ klein sind und somit das zur Verbrennung zur Verfügung stehende Material gering ist.

Aus der Risikoeinschätzung geht eindeutig hervor, dass die einzige katastrophale, vom Akkumulator ausgehende Gefahr in dessen thermischen Durchgehen besteht. Die Kettenreaktion innerhalb eines Akkumulators kann einen Vollbrand des Systems sowie eine darüber hinausreichende Brandausbreitung zur Folge haben. Die identifizierten Gefährdungen werden im Folgenden durch ein Akkumanagement bestehend aus Verfahrens- und Verhaltensanweisungen sowie Checklisten minimiert.

Dem Laden der Akkumulatoren muss besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Wie bereits beschrieben dürfen nur vom Hersteller zugelassene Ladegeräte in Kombination mit herstellereigenen Akkumulatoren verwendet werden. Um hohe Temperaturen während des Ladevorganges zu verhindern, sind die Ladegeräte entsprechend der Herstellerangaben zu verwenden.

Der Ort, an dem das Ladegerät betrieben wird, sollte aus einer feuerfesten, isolierenden Unterlage bestehen. Es ist darauf zu achten, dass der Raum, in dem die Akkumulatoren geladen werden, beheizt ist. Optimal ist eine Ladetemperatur von mindestens 20 °C [7]. Eine Garage oder unbeheizte Wagenhalle ist daher eher ungeeignet. Aus diesem Grund empfiehlt sich die Verwendung eines sogenannten Ladekoffers. Dabei handelt es sich um ein Ladegerät, das als Koffer konzipiert wurde. Dieser Ladekoffer sollte feuerfest sein, über eine aktive Belüftung und eine Heizung verfügen. Die Akkumulatoren werden zum Laden lediglich in diesen eingesetzt. Der Ladekoffer sollte über eine Temperaturüberwachung verfügen, die anhand der Temperatur des Akkumulators das Ladeverhalten anpasst und die Akkumulatoren entsprechend automatisch temperiert. Verfügt der Ladekoffer nicht über eine integrierte Heizung, besteht die Möglichkeit, einen externen Heizkoffer zum Vorwärmen der Akkumulatoren zu verwenden. Ein weiterer Vorteil der Verwendung einer Akku-Heizung ist, dass Lithium-Ionen-Akkumulatoren eine optimale Betriebstemperatur von 35 °C bis 45 °C besitzen. Bereits bei einer Temperatur von 18 °C verlieren sie ihre Fähigkeit zur hochohmigen Leistungsabgabe. Wird bei dieser Temperatur die gewohnte Leistung gefordert, hat dies massive Spannungseinbrüche zur Folge. Im besten Fall schädigt dies den Akkumulator irreparabel, im schlechtesten Fall führt dies zu einer Überhitzung der Zellen gefolgt von deren thermischem Durchgehen [7]. Eine Akku-Heizung verhindert dies.

Der Anwender ist in der Verantwortung den Ladevorgang dauerhaft zu überwachen, um so eine Fehlfunktion frühzeitig erkennen zu können. Diese Überwachung kann ebenfalls elektronischer Natur sein. Wie diese jedoch auszulegen beziehungsweise zu konzipieren ist, muss Bestandteil weiterer Forschung sein. Sollte eine ausreichende elektronische Ladungsüberwachung verwendet werden, muss der Anwender trotzdem mindestens die ersten fünf Minuten des Ladevorgangs manuell überwachen. Zu dieser Überwachung gehört die visuelle und haptische Kontrolle der Wärmeentwicklung der Akkumulatoren [7].

Häufig ist es nötig die Akkumulatoren im Verlauf eines Feuerwehreinsatzes zu laden. Viele Ladekoffermodelle verfügen sowohl über die Möglichkeit diesen mit 230 V Wechselspannung sowie 12 V Gleichspannung zu betreiben. Dies bietet den Vorteil, dass die Ladekoffer während der Fahrt oder am Einsatzort über die Lichtmaschine des Einsatzfahrzeuges betrieben werden können. Wird zum Laden der Akkumulatoren ein Ladekoffer verwendet, ist hier ebenfalls zwingend darauf zu achten, dass die Lüftungsöffnungen nicht zugestellt werden, damit die Abwärme aus dem Fahrzeug abgeführt werden kann. Zudem sind die Witterungsbedingungen vor Ort zu beachten. Sollte das Fahrzeug in der Sonne stehen, kann dies im Sommer einen Wärmestau im Inneren des Fahrzeuges und somit innerhalb des Ladekoffers begünstigen. Eine Idee wäre die Verlastung des Ladekoffer auf einem Auszug, sodass dieser während des Einsatzes aus dem Fahrzeug herausgezogen und arretiert werden kann. Dies begünstigt zum einen die Wärmeabfuhr des Ladekoffers, zum anderen sind die Akkumulatoren jederzeit zugänglich und können im Bedarfsfall schnell entnommen und gegen entladene Akkumulatoren getauscht werden. Das Verlasten des Ladekoffers auf einem Auszug hätte zusätzlich den Vorteil, dass der Ladekoffer mit einem Handgriff wieder sicher im Fahrzeug verlastbar ist. Sollte die Notwendigkeit auftreten, den Ladekoffer schnell wieder zu verstauen, müsste nicht auf eine adäquate Ladungssicherung mit Spanngurten o. ä. geachtet werden. Der verwendete Ladekoffer sollte zusätzlich spritzwassergeschützt sein, da nicht auszuschließen ist, dass dieser unterschiedlichsten Witterungsbedingungen ausgesetzt sein wird.

Die Früherkennung von defekten Zellen oder tiefenentladenen Akkumulatoren muss Bestandteil tiefergehender Forschung sein. Inwiefern zum derzeitigen Stand Geräte existieren, die zuverlässige Diagnostik betreiben und sogar im Ladekoffer integrierbar sind, bedarf intensiver Recherche und damit eingehende Tests.

Ein großes Problem von BOS stellt das Akku-Management bezüglich der Ladeerhaltung dar. Generell sollten Lithium-Ionen-Akkumulatoren zur Lagerung einen SoC von 50 Prozent haben, um die Brandgefahr so gering wie möglich zu halten [7]. Dies steht jedoch im Widerspruch zu der



Notwendigkeit bei BOS, dass das UAS dauerhaft voll einsatzbereit sein muss. Im Einsatzfall dauert das Laden eines Akkumulator mit einem SoC von 50 Prozent auf 100 Prozent zu lange und das UAV müsste mit teilgeladenem Akkumulator in den Einsatz starten. Die weiteren Akkumulatoren würden über den Zeitraum des ersten Fluges des UAV weitergeladen, sodass sich die Einsatzzeit aufgrund des fortlaufenden Ladens der Akkumulatoren bis zur vollen Flugzeit weiter aufbauen würde. Eine noch zu entwickelnde Möglichkeit diese Problematik besser zu lösen wäre ein Ladekoffer, der immer einen jeweils anderen Akkumulator auf 100 Prozent SoC hält. Somit würde sich die Ersteinsatzzeit auf das Maximum verlängern, wodurch die anderen Akkumulatoren einen höheren SoC erreichen können.

Um das Risiko zu vermindern, dass ein Akkumulator aufgrund einer mechanischen Beschädigung thermisch Durchgeht, sind diese mit besonderer Vorsicht zu handhaben. Sämtliche Anwender sollten sich bewusst sein, dass von diesen eine nicht unerhebliche Brandgefahr ausgeht. Alle Akkumulatoren sind zu jeder Zeit in einer stoß- und feuerfesten Umhausung zu lagern.

Es ist davon auszugehen, dass das UAS von einer Vielzahl unterschiedlicher Personen eingesetzt wird. Daher sollte ein kontrollierendes und protokollierendes Management für jeden Akkumulator in Form eines Akku-Logbuches geführt werden [7]. Sollte während der Vorflugkontrolle oder der Wartung eine Beschädigung am Akkumulator auffallen, so kann nachvollzogen werden, ob es sich um eine ältere, bekannte Beschädigung handelt. Sollten Beschädigungen auffallen, die über einen Kratzer am Gehäuse hinausgehen, so ist dies zu dokumentieren und der Akkumulator ist aus dem Verkehr zu ziehen. Ist der Akkumulator nur ansatzweise aufgebläht oder verformt so gilt dies als sicheres Zeichen dafür, dass dieser beschädigt ist und nicht weiterverwendet werden darf. Anschließend ist dieser in einer feuerfesten und entsprechend ihres Inhaltes gekennzeichneten Umhausung dem Hersteller zur Kontrolle zukommen zu lassen. Dies gilt ebenso für beobachtete Schadensereignisse wie Stürze oder Quetschungen des Akkumulators, bei denen selbst ohne äußerliche Spuren von einer Beschädigung ausgegangen werden muss.

### **3.4.2 Allgemeine Risikominderung**

Eine umfangreiche Ausbildung der Fernpilotinnen/Fernpiloten ist essenziell für den sicheren Umgang mit UAV jeglicher Größe. Sie bildet die Grundlage für die Risikominderung. Daher ist ein Kompetenznachweis jeder Fernpilotin/jedes Fernpiloten nach der EU-Drohnenverordnung zu erbringen. Neben den Grundkompetenzen der Fernpilotinnen/Fernpiloten ist zur weiteren Risikominderung zusätzlich eine organisationsspezifische UAV-Ausbildung zu durchlaufen. Das BBK hat zu diesem Zweck in seiner „Empfehlung für Gemeinsame Regelungen zum Einsatz von Drohnen im Bevölkerungsschutz“ ein Grundkonzept entworfen. Ob dieses Ausbildungskonzept

ausreichend ist, um Feuerwehrfrauen/Feuerwehrmänner umfangreich auf den Einsatz von UAV vorzubereiten, muss Bestandteil praktischer Untersuchungen sein. Das BBK sieht vor, seine Empfehlungen in den kommenden Jahren zu reevaluieren und bei Bedarf anzupassen.

In Hinblick auf die Weiterentwicklung der Arbeit mit UAS sollte eine offene Fehlerkultur wie in der bemannten Luftfahrt praktiziert werden. Indem Informationen über Unfälle und Beinaheunfälle in einer Datenbank geteilt werden, können die Fernpilotinnen/Fernpiloten über Gefährdungseignisse lernen und sind als Resultat besser auf diese vorbereitet.

Um den theoretischen Teil der Ausbildung mit dem Praktischen zu verbinden, eignen sich Simulatoren. Dabei handelt es sich um Programme, in denen unter realitätsnahen Bedingungen das Steuern von UAV trainiert werden kann. Bei der Wahl des Simulators zu beachten ist, dass dieser mit der Fernbedienung des im späteren Einsatz verwendeten UAV kompatibel ist. Bei dem UAV im Simulator sollte es sich ebenfalls um ein vergleichbares oder dasselbe Modell handeln. Sollte eine Einheit beispielsweise im Einsatz eine DJI Matrice 300 RTK einsetzen, bietet sich der DJI Flugsimulator an. Dieser ermöglicht es, die Hardware (Fernbedienung), die später im Einsatz zum Steuern der Matrice verwendet wird, über eine USB-Verbindung mit dem PC zu verbinden [19].

Zur Risikominderung der Störung der Sprachkommunikation ist im Rahmen der organisationsspezifischen Ausbildung eine angemessene Phraseologie in Kombination mit entsprechenden Handzeichen zu etablieren. Ähnlich wie in der Funkkommunikation oder bei der Herstellung der Wasserversorgung ist beim Einsatz von UAV ebenfalls auf eine angemessene Phraseologie zu achten. Ein Beispiel für eine solche Phraseologie könnte sein:

Luftraumbeobachter/in: *„Keine Startfreigabe, Luftraum ist nicht frei.“*

Fernpilot/in: *„Keine Startfreigabe, verstanden.“*

Oder

Luftraumbeobachter/in: *„Achtung! Hubschrauber im Luftraum. Sofortige Landung“*

Fernpilot/in: *„Sofortige Landung, Verstanden. Frage, Flugrichtung Hubschrauber?“*

Luftraumbeobachter/in: *„Hubschrauber kommend aus Nordost“*

Fernpilot/in: *„Kommend aus Nordost, Verstanden. Weiche aus und lande Richtung Nordwest.“*

Standardisierte Handzeichen können beispielsweise sein:

Gekreuzte Arme = Start abbrechen

### Ausgestreckte Arme, mit abwärts Bewegung = Landung durchführen

Hierbei handelt es sich lediglich um Beispiele. Was eine angemessene Phraseologie und entsprechende Handzeichen sind, muss im Einzelfall organisationsspezifisch ermittelt werden.

Zur Vermeidung von Pilotenfehlern ist die IM SAFE Checklist des Luftfahrtbundesamtes von der Fernpilotin/dem Fernpiloten durchzuführen. Bei dem Akronym handelt es sich um eine Checkliste, mit der die eigene aktuelle körperliche und geistige Leistungsfähigkeit zu bewerten ist. Sollte einer der sieben Punkte nicht eindeutig mit einem Nein beantwortet werden können, so darf die Fernpilotin/der Fernpilot nicht fliegen. Im Verlauf einer Mission ist dieser Check in regelmäßigen Abständen zu wiederholen und im Falle einer Abweichung muss eine geeignete Person das Steuern des UAV übernehmen [20].

Sind Einsätze wie Fortbildungen oder Übungen planbar, ist eine intensive Flugvorbereitung bezogen auf das Einsatzgebiet zu betreiben. Diese beinhaltet, dass Besonderheiten des Einsatzgebietes beziehungsweise des Übungsgeländes wie Topographie und Infrastrukturen erfasst werden. Da im Regelfall der Einsatz von UAS nicht planbar ist, muss vor dem ersten Einsatz des UAS das gesamte zu erwartende Einsatzgebiet auf Gefahrenquellen vorausschauend untersucht werden.

Die Start- und Landezone des UAV ist ein besonders kritischer Bereich. Sollte das System in den Return-to-Home-Modus wechseln, da beispielsweise ein Defekt an der Fernsteuerung vorliegt, fliegt das UAV selbständig zum Startpunkt zurück und führt die Landung durch. Ist der Startpunkt jedoch in der Zwischenzeit durch beispielsweise einen Rettungstransportwagen belegt, so kommt es unweigerlich zur Kollision mit diesem. Die Start- und Landezone ist daher eindeutig zu kennzeichnen. Dort gilt ein generelles Aufenthaltsverbot. Ausnahmen von diesem bilden lediglich die Herstellung der Einsatzbereitschaft des Systems bis zum Start der Rotoren und das gelegentliche Wechseln der Akkumulatoren bei Stillstand der Rotoren. Die eindeutige Kennzeichnung der Start- und Landezone erfolgt durch vier im Quadrat aufgestellte Verkehrsleitkegel mit eingesteckten Warnleuchten und einem „Do Not Enter“-Schild in Kombination mit einem UAV-Piktogramm.

Der Anhang 3 der „Empfehlung für Gemeinsame Regelungen zum Einsatz von Drohnen im Bevölkerungsschutz“ des BBK liefert umfangreiche Checklisten zur Betriebsbereitschaft, zur Flugvorbereitung, zum Flugbetrieb, zur Nachflugkontrolle und zur Wiederherstellung der Einsatzbereitschaft [11]. Diese sind organisations- sowie systemspezifisch anzupassen und durchzuführen.

Vorschriften wie die DGUV Vorschrift 49 und relevante FwDV sind der Vollständigkeit halber aufgeführt und sind stets vom UAS-Team einzuhalten.

### **3.5 Zweite Risikoeinschätzung**

Im Anschluss an die Risikominderung erfolgte eine zweite Risikoeinschätzung [siehe Anhang 7]. Diese diente der Überprüfung der ergriffenen Maßnahmen zur Risikominderung. Im Rahmen der zweiten Risikoeinschätzung wird deutlich, dass die Kombination aus der intensiven Ausbildung der Fernpilotinnen/Fernpiloten und der Umsetzung der Empfehlungen des BBK eine deutliche Minderung der Risiken erzielt. Zusätzlich werden die Risiken, die von den Akkumulatoren ausgehen durch das Betreiben eines adäquaten Akku-Managements reduziert.

Trotz der ergriffenen Maßnahmen wird aus der Tabelle aus Anhang 7 deutlich, dass weiterhin nicht tolerierbare Risiken bestehen bleiben. Diese müssen Bestandteil einer Weiterentwicklung der Risikominderungsmaßnahmen sein. Die bereits ergriffenen Maßnahmen müssen in diesen konkreten Fällen weiterentwickelt beziehungsweise durch weitere Maßnahmen ergänzt werden.

## 4 Schluss

Die Durchführung einer Risikobeurteilung von Einsatzmitteln der Feuerwehr ist von zentraler Bedeutung. Daher ist die durchgeführte Risikobeurteilung des UAS ein wichtiger Schritt, um das Arbeiten mit UAS für sämtliche beteiligten und unbeteiligten Personen sicher zu gestalten. Indem Gefahrenpotenziale aufgezeigt werden, können Risiken gezielt gemindert werden. Die in dieser Arbeit durchgeführte Risikobeurteilung zeigt eindeutig, dass große Gefahren von UAS ausgehen. Vor allem aufgrund ihres Gewichts in Kombination mit ihrer Geschwindigkeit, der sich schnell drehenden Rotoren und der verwendeten Akkumulatoren besitzen UAS ein hohes Gefahrenpotenzial. Die falsche Handhabung des Systems kann zu fatalen Folgen führen. Daher muss die Fernpilotin/der Fernpilot immer das Gefahrenpotenzial, das von dem UAV ausgeht im Hinterkopf haben. Im Rahmen der Risikominderung wurde gezeigt, dass bereits eine solide Ausbildung und die Beachtung von Verhaltensvorschriften inklusive Checklisten eine enorme Minderung der vom UAS ausgehenden Gefahren erzielt. Es wird als gefährlich erachtet, dass BOS von den Regelungen der Luftverkehrsordnung und den vorgeschriebenen Kompetenznachweisen befreit sind. Insbesondere Fernpilotinnen und Fernpiloten der BOS sollten jedoch die Inhalte der Luftverkehrsordnung und der Kompetenznachweise kennen, damit sie wissen, über welche Regelungen sie sich im Einsatzfall hinwegsetzen und welche Gefährdungen dadurch entstehen können.

Leider bot der zeitliche Rahmen der Bachelorarbeit nicht die Möglichkeit, die Risikoanalyse in einem vollständigen Umfang durchzuführen. Dem Umstand geschuldet, dass es sich bei einer Bachelorarbeit um eine Einzelleistung handelt, wurde die Identifizierung und die Bewertung der Gefährdungen nicht von einem breit aufgestelltem Experten-Team durchgeführt. Aus diesem Grund sind einige Aspekte, die den Rahmen der Bachelorarbeit überschritten hätten wie die Analyse von den indirekt vom UAS ausgehenden Gefährdungen nicht aufgeführt. Zudem wäre eine detaillierte Beschreibung der Entscheidungsfindung der einzelnen Risikoeinschätzungen von Vorteil, um diese in der Zukunft leichter nachvollziehen zu können.

Im nächsten Schritt sollten Tests mit dem System zur weiteren oder besseren Identifizierung von Risiken und zur Überprüfung der bereits getroffenen Maßnahmen durchgeführt werden. Ergänzend zu den Tests sollten nicht nur Empfehlungen für BOS zum Umgang mit UAS formuliert, sondern vielmehr verpflichtende Dienstvorschriften herausgegeben werden, damit Feuerwehren diese anerkennen und befolgen müssen.

## 5 Literatur

- [1] Verband Unbemannte Luftfahrt, „Verband Unbemannte Luftfahrt,“ März 2021. [Online]. Available: <https://www.verband-unbemannte-luftfahrt.de/analyse-des-deutschen-drohnenmarktes/>. [Zugriff am 1 September 2021].
- [2] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, „Bundesinformationszentrum Landwirtschaft,“ 15 Januar 2021. [Online]. Available: <https://www.landwirtschaft.de/landwirtschaft-verstehen/wie-funktioniert-landwirtschaft-heute/wofuer-braucht-man-drohnen-in-der-landwirtschaft>. [Zugriff am 20 November 2021].
- [3] T. Geese und M. Rüffer, „Drohnen im Anflug,“ *Feuerwehr-Magazin, eDossier, Drohnen bei der Feuerwehr*, pp. 2-7, 2014.
- [4] Die Europäische Kommission, „Durchführungsverordnung (EU) 2018/1139 des europäischen Parlaments und Rates vom 4. Juli 2018 zur Festlegung gemeinsamer Vorschriften für die Zivilluftfahrt und zur Errichtung einer Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit sowie zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 2111/2005, (EG) Nr. 1008/2008, (EU) Nr. 996/2010, (EU) Nr. 376/2014 und der Richtlinien 2014/30/EU und 2014/53/EU des Europäischen Parlaments und des Rates, und zur Aufhebung der Verordnungen (EG) Nr. 552/2004 und (EG) Nr. 216/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates und der Verordnung (EWG) Nr. 3922/91 des Rates,“ *Amtsblatt der Europäischen Union*, 2018.
- [5] K. Biermann und T. Wiegold, *Drohnen - Chance und Gefahr einer neuen Technik*, Bonn: Christoph Links Verlag GmbH, 2015.
- [6] DJI, „Techn. Daten Matrice 300 RTK,“ DJI, [Online]. Available: <https://www.dji.com/de/matrice-300/specs>. [Zugriff am 10 Dezember 2021].
- [7] U. Dieckert und S. Eich, *Drohnen - Technik und Recht - bei gewerblicher und behördlicher Nutzung*, Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2018.
- [8] M. Rüffer, „Überblick aus der Luft,“ *Feuerwehr-Magazin, eDossier, Drohnen bei der Feuerwehr Teil 2*, pp. 2-8, 2016.
- [9] R. Goertz, „Gefahren durch sekundäre Lithium-Ionen-Batterien im Feuerwehreinsatz,“ 23 Februar 2019. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=5XlWuSz3vh4>. [Zugriff am 21 November 2021].

- 
- [10] S. Buchenau, „Feuerwehren heben ab,“ *Feuerwehr-Magazin, eDossier, Drohnen bei der Feuerwehr Teil 1*, pp. 2-7, 2016.
  - [11] Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe, „Empfehlungen für Gemeinsame Regelungen zum Einsatz von Drohnen im Bevölkerungsschutz,“ Bonn: BBK, 2020.
  - [12] Die Europäische Kommission, „Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 der Kommission vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge,“ *Amtsblatt der Europäischen Union*, 2019.
  - [13] Die Europäische Kommission, „Durchführungsverordnung (EU) 2020/746 der Kommission vom 4. Juni 2020 zur Änderung der Durchführungsverordnung (EU) 2019/947 hinsichtlich der Verschiebung der Anwendungsfristen bestimmter Maßnahmen im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie,“ *Amtsblatt der Europäischen Union*, 2020.
  - [14] BMVI, „Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur,“ 12 Dezember 2020. [Online]. Available: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LF/drohnen.html>. [Zugriff am 25 Dezember 2021].
  - [15] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, „§ 21h Regelungen für den Betrieb von unbemannten Fluggeräten in geografischen Gebieten nach der Durchführungsverordnung (EU) 2019/947“ *Luftverkehrs-Ordnung (LuftVO)*. [Online]. Available: [https://www.gesetze-im-internet.de/luftvo\\_2015/\\_21h.html](https://www.gesetze-im-internet.de/luftvo_2015/_21h.html). [Zugriff am 12 Dezember 2021].
  - [16] DIN EN ISO 12100, Sicherheit von Maschinen – Allgemeine Gestaltungsleitsätze – Risikobeurteilung und Risikominderung (ISO 1200:2010); Deutsche Fassung EN ISO 12100:2010.
  - [17] ISO/TR 14121-2:2012, Sicherheit von Maschinen – Risikobeurteilung – Teil 2: Praktischer Leitfaden und Verfahrensbeispiele (ISO/TR 14121-2:2012).
  - [18] Luftfahrt-Bundesamt, „Fragen und Antworten zu UAS; Luftfahrt-Bundesamt,“ [Online]. Available: [https://www.lba.de/DE/Drohnen/FAQ/01\\_FAQ\\_Allgemein/FAQ\\_node.html;jsessionid=168428A0C72191BC288BA8C8AB14C3FF.live21302](https://www.lba.de/DE/Drohnen/FAQ/01_FAQ_Allgemein/FAQ_node.html;jsessionid=168428A0C72191BC288BA8C8AB14C3FF.live21302). [Zugriff am 25 November 2021].
  - [19] R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2013.

- [20] Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung, „GESTIS-Stoffdatenbank,“ [Online]. Available: <https://gestis.dguv.de/data?name=132948>. [Zugriff am 12 Dezember 2021].
- [21] DJI, „DJI Flight Simulator,“ DJI, 2021. [Online]. Available: <https://www.dji.com/de/simulator>. [Zugriff am 4 Dezember 2021].
- [22] Luftfahrtbundesamt, „LBA-openuav,“ [Online]. Available: <https://lba-openuav.de/wp-content/uploads/IM-SAFE-Checkliste.pdf>. [Zugriff am 4 Dezember 2021].



## 6 Anhang

### Anhang 1: Ausschreibung des Instituts der Feuerwehr

## Los 1: UAS als multifunktionale Plattform für Sensoren

Pos.	Bezeichnung/Beschreibung
1.	<p><b>Allgemein</b></p> <p>UAS (Unmanned Aircraft System, unbemanntes Luftfahrtsystem) als multifunktionale Plattform für Sensoren bestehend aus den folgenden Komponenten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- UAV (Unmanned Aerial Vehicle, unbemanntes Luftfahrzeug)</li> <li>- Nutzlast (Infrarot- und RGB-Kamera)</li> <li>- 4 Bedieneinheiten <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bedieneinheit Fernpilot</li> <li>• Bedieneinheit Videooperator</li> <li>• Bedieneinheit Bildbearbeiter</li> <li>• Bedieneinheit Einsatzleitung</li> </ul> </li> <li>- Zubehör</li> </ul> <p><b>Zweck des UAS ist die Erstellung von hochauflösenden Videos und Bildern einer Einsatzstelle der nicht-polizeilichen Gefahrenabwehr aus der Luft mittels Infrarot- und RGB-Kameras (pixelgenaue radiometrische Daten), die während des Fluges direkt (live) betrachtet werden oder im weiteren Verlauf am Boden bearbeitet werden können und auf Abruf (on-demand) drahtlos in der Einsatzleitung zur Verfügung stehen.</b></p> <p>Sämtliche Liefergegenstände laut nachstehender Tabelle müssen dem neuesten Stand der Technik entsprechen (sofern in der unten aufgeführten Auflistung keine abweichenden oder Zusatzanforderungen gestellt sind).</p> <p>Zu sämtlichen Ausrüstungsgegenständen sind bei Lieferung Bedienungsanleitungen (1x analog, 1x digital), bei Bedarf auch Sicherheitsdatenblätter, in deutscher Sprache zu liefern.</p> <p>Das UAV und alle seine folgend beschriebenen Bestandteile (inklusive Sensoren, Gimbal, Fallschirmsystem, FPV-Kamera, Akkus etc.), die für die Flugsteuerung und -planung erforderlichen Geräte (Bedieneinheiten Fernpilot und Videooperator) sowie die Bedieneinheit Einsatzleitung müssen so ausgelegt sein, dass ein Betrieb bei den folgenden Bedingungen schadlos und sicher möglich ist:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatur -5 °C bis 35 °C</li> <li>- mäßiger Regen (bis 4 l/qm in 60 Minuten) und leichter Schneefall</li> <li>- Windstärke 5 bft</li> <li>- staubige Atmosphären im Sinne der DIN ISO 60529</li> </ul> <p>Der Betrieb des UAS muss ohne bestehende Internetverbindung möglich sein, keinerlei Daten dürfen unautorisiert an fremde Server übertragen werden. Eine internetbasierte Cloudlösung ist nicht zulässig.</p> <p><b>Lieferfrist: 31.03.2020</b></p>

## UAV

Pos.	Bezeichnung/Beschreibung
2.	<b>Allgemein</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Senkrechtstart- und Landung muss möglich sein</li> <li>- kontinuierlicher Schwebeflug muss möglich sein</li> <li>- Das UAV muss bei maximaler Nutzlast auch bei Ausfall eines Motors steuerbar bleiben und sicher gelandet werden können</li> <li>- Rüstzeit &lt; 5 min. (von Öffnen des Transportkoffers bis Startbereitschaft, mit einer geübten Person, exklusive nicht-technischer Vorflug-Checks)</li> </ul>
3.	<b>Abmessungen und Gewicht</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Höchstabfluggewicht &lt; 25 kg</li> <li>- Nutzlast (noch verfügbar nach Einsetzen des Akkus) ≥ 1,4 kg</li> <li>- Größte charakteristische Abmessung &lt; 3 m</li> </ul>
4.	<b>Flugleistungen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Flugzeit bei maximaler Nutzlast aus Pos. 3, Windstille und konstant 20 km/h ≥ 20 min.</li> <li>- Mögliche Flughöhe 500 m</li> <li>- Mögliche Fluggeschwindigkeit (Geschwindigkeit über Grund bei Windstille) ≥ 50 km/h</li> <li>- Mögliche Aufstiegsgeschwindigkeit ≥ 4 m/s</li> <li>- Begrenzung der Sinkgeschwindigkeit auf ein sicheres Maß</li> </ul>
5.	<b>Stabilisierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- GNSS-unterstützte Flugstabilisierung (bei Windstille: Schwebegenauigkeit vertikal ± 1 m, horizontal ± 1,5 m)</li> <li>- Unterstützung von NAVSTAR GPS und GLONASS</li> </ul>
6.	<b>Hülle</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aus bruchfestem, splitterfreiem Material ohne scharfe Kanten</li> <li>- Farbe RAL 3024, 3026 oder vergleichbar</li> <li>- Beschriftung nach Wunsch des Auftraggebers</li> </ul>
7.	<b>Fallschirmsystem</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Selbstständige Auslösung des Fallschirms bei drohendem Absturz des UAV</li> <li>- Schirmgröße auf Höchstabfluggewicht des UAV ausgelegt</li> <li>- Manuelle Auslösung durch Fernpilot möglich</li> <li>- Automatische Abschaltung der Rotoren bei Auslösung des Fallschirms</li> </ul>
8.	<b>System zur Fernidentifizierung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ADS-B out (Transmitter und –receiver) oder FLARM</li> <li>- Stellung und Einbau der Technik durch den Anbieter, Administration (Anmeldung etc.) erfolgt durch den Auftraggeber</li> </ul>

9.	<b>FPV-Kamera</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- fest nach vorne gerichtet</li> <li>- verzerrungsarmes Sichtfeld mind. 120°</li> <li>- Auflösung mind. 720p</li> <li>- Bildrate mind. 24 fps</li> </ul>
10.	<b>Schnittstelle Sensor/Gimbal - UAV</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufnahme zum schnellen Wechseln von Gimbals und anderen Sensoren (Rüstzeit &lt; 1 min.)</li> <li>- Vollständige technische Dokumentation der mechanischen und elektronischen Schnittstelle inkl. technischer Zeichnung und Belegungsplänen sämtlicher Kontakte bzw. Steckverbindungen</li> </ul>
11.	<b>Beleuchtung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- SERA.3215-konforme Beleuchtung</li> </ul>
12.	<b>Datenschreiber</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Dauerhafte Aufzeichnung der Flugparameter (mind. Lage, Höhe, Geschwindigkeit, Position, Beschleunigung sowie der Steuereingaben) redundant im UAV und am Boden</li> <li>- Inkl. Auswertesoftware</li> </ul>
13.	<b>Kennzeichnung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anbringung einer dauerhaften, feuerfesten Beschriftung mit Namen und Anschrift des Auftraggebers (Genaue Angaben sind mit dem Auftraggeber abzustimmen)</li> </ul>

## Nutzlast

Pos.	Bezeichnung/Beschreibung
14.	<b>Allgemein</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Die beiden Kameras aus Pos. 15 und 16 sind so zu montieren und zu steuern, dass sie den gleichen Bildausschnitt zeigen bzw. auf das gleiche Ziel gerichtet sind. Eine Auslegung der Kameras als Kombinationsgerät auf einem Gimbal (Dualkamera) ist vorzuziehen</li> <li>- Stromversorgung der Kameras aus dem Flugakku oder eigener, integrierter Akku</li> </ul>
15.	<b>Optische, digitale RGB-Videokamera mit Nachtsichtmodus</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Optischer Zoom mind. 20-fach</li> <li>- Auflösung mind. 1080p</li> <li>- Vollbildrate mind. 30 Hz</li> <li>- Speicherung der Daten in höchstmöglicher Auflösung auf einem entnehmbaren, mobilen Massenspeicher (z.B. SD-Karte) möglich</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zuschaltbarer Nachtsichtmodus für Umgebungen mit 0,002 lux</li> <li>- Fotofunktion in maximaler Auflösung der Kamera mit Möglichkeit zum direkten Download</li> <li>- Inkl. drei passender Massenspeicher (ausreichende Übertragungsgeschwindigkeit, Kapazität jeweils mindestens 60 Minuten bei höchster Auflösung)</li> </ul>
16.	<b>Digitale Wärmebildkamera (IR-Kamera)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auflösung mind. 640 x 512 px</li> <li>- Vollbildrate mind. 7 Hz</li> <li>- Farbpaletten umschaltbar</li> <li>- Digitaler Zoom mind. 8x</li> <li>- NEDT <math>\leq</math> 60 mK</li> <li>- Zielbereich: -30 – 500 °C</li> <li>- Verlustfreie Aufzeichnung von kalibrierten Temperaturdaten in jedem Pixel (radiometrische Messung)</li> <li>- Steuerbarkeit der Kamerafunktionen während des Fluges</li> <li>- Speicherung der Daten auf einem entnehmbaren, mobilen Massenspeicher (z.B. SD-Karte) möglich</li> <li>- Inkl. drei passender Massenspeicher (ausreichende Übertragungsgeschwindigkeit, Kapazität jeweils mindestens 60 Minuten bei höchster Auflösung)</li> </ul>
17.	<b>Gimbal (kardanische Aufhängung)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- abnehmbarer 3-Achs-Gimbal</li> <li>- passend für die in Pos.10 beschriebene Schnittstelle zum UAV</li> <li>- vorbereitet für die gemeinsame Aufnahme der Kameras aus Pos. 15 und 16</li> <li>- Gewichtskapazität <math>\geq</math> 750 g, mind. aber ausreichend für die Aufnahme der Kameras aus Pos. 15 und 16.</li> <li>- Drehwinkel mind. Neigen <math>\pm 90^\circ</math>, Gieren <math>\pm 180^\circ</math>, Rollen <math>\pm 45^\circ</math></li> <li>- Die Anbringung des Gimbals ist so zu wählen, dass bei normalem Flug keine Propeller im Sichtfeld der Kameras sind. In einem Bereich von <math>120^\circ</math> nach vorne darf ein ggf. verbautes Landegestell die Funktion der Kameras nicht einschränken.</li> </ul>

## **Bedieneinheiten**

Pos.	Bezeichnung/Beschreibung
18.	<b>Allgemein</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2-Mann-Bedienung des UAV durch Fernpilot und Videooperator mit zwei tragbaren, drahtlosen Bedieneinheiten mit den Funktionen aus Pos. 19 und 20:</li> <li>- Die Bedieneinheit des Fernpiloten muss zusätzlich die Funktionen des Videooperators erfüllen, um eine 1-Mann-Bedienung zu ermöglichen</li> <li>- Sämtliche Verbindungen (Steuerung, Flug- und Betriebsparameter, Bild- und Videosignale etc.) zwischen UAV, Bedieneinheiten und Datenspeichern sind digital auszuführen und durch Verschlüsselung (AES-256 oder vergleichbar) gegen den unberechtigten Zugriff Dritter zu schützen.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Leistungsfähigkeit der Verbindungen muss an die unter Pos. 19-22 beschriebenen Funktionen der Bedieneinheiten angepasst sein</li> <li>- Reichweite der Verbindungen mind. 500 m Sichtlinie</li> <li>- Open-Source-Software-Architektur (z.B. PX4)</li> </ul>
19.	<p><b>Bedieneinheit Fernpilot</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> <li>o verzögerungsarme Darstellung des Bilds der FPV-Kamera (Latenzzeit <math>\leq 200</math> ms) mit der Möglichkeit zum Anschluss einer FPV-Brille</li> <li>o Anzeige der Betriebsparameter des UAVs (Ladezustand etc.)</li> <li>o Anzeige der Flugparameter (Höhe, Geschwindigkeit, Flugdauer etc.)</li> <li>o Anzeige und Bedienung einer Missionsplanung für autonomen Flug</li> <li>o Steuerung des UAV über 2 Steuerknüppel („Mode 2“)</li> <li>o Programmierbare Maximalhöhe</li> <li>o Return-to-home-Funktion</li> <li>o Halten einer vorgegebenen Höhe</li> <li>o Point-of-Interest-Funktion / Circle-of-Interest-Funktion</li> <li>o Geofence-Funktion</li> <li>o Geo-Sensibilisierungssystem (lediglich zur Information des Fernpiloten, kein Eingriff in die Flugplanung oder –steuerung)</li> <li>o zusätzlich sämtliche Funktionen des Videooperators aus Pos. 20</li> </ul> </li> <li>- Zwei mit handelsüblichem Werkzeug durch den Bediener austauschbare Akkus inkl. Ladetechnik</li> <li>- Akkulaufzeit je Akku mind. 1,5 h</li> <li>- Gewicht <math>\leq 5</math> kg</li> <li>- mind. 1 berührungsempfindlicher Bildschirm („Touchscreen“) (Diagonale mindestens 10 Zoll, entspiegelt, Bildschirmhelligkeit mind. 300 cd/m<sup>2</sup>, mit Blendschutz)</li> <li>- inkl. Trageriemen oder Tragegestell</li> </ul>
20.	<p><b>Bedieneinheit Videooperator</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionen: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Zeitsynchrone Anzeige des Livebilds der RGB-Kamera (mind. 1280x720 px, 30 Hz) und der IR-Kamera (mind. 640x512 px, 7 Hz) vom Bediener wählbar als Splitscreen, separates Bild oder Überblendung mit variabler Transparenz des IR-Bilds und Möglichkeit zur Skalierung und Veränderung der angezeigten Farbpalette</li> <li>o Bei den IR-Aufnahmen muss eine pixelgenaue Auswertung der gemessenen Temperaturen (radiometrische Daten) möglich sein.</li> <li>o Möglichkeit zur Auslösung einer Aufzeichnung des Livebilds der RGB-Kamera und der IR-Kamera. Die Aufnahmen sind dabei mit einem gemeinsamen Zeitstempel zu versehen. (Die Aufzeichnung kann auf der Bedieneinheit selber oder auf einem anderen Gerät innerhalb des verschlüsselten Netzwerks erfolgen)</li> <li>o Möglichkeit zur Auslösung von Fotoaufnahmen</li> <li>o Steuerung des Gimballs</li> <li>o Steuerung des Zooms der beiden Kameras</li> <li>o Steuerung der Funktionen von RGB-Kamera und IR-Kamera (Farbmodi etc.)</li> <li>o Zusätzliche Ansicht in Form einer Übersichtskarte, aus der die Ausrichtung des UAV bzw. der Kamera hervorgeht</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Zwei mit handelsüblichem Werkzeug durch den Bediener austauschbare Akkus inkl. Ladetechnik</li> <li>- Akkulaufzeit je Akku mind. 1,5 h</li> <li>- Gewicht <math>\leq 5</math> kg</li> <li>- mind. 1 berührungsempfindlicher Bildschirm („Touchscreen“) (Diagonale mindestens 10 Zoll, entspiegelt, Bildschirmhelligkeit mind. 300 cd/m<sup>2</sup>, mit Blendschutz)</li> <li>- inkl. Trageriemen oder Tragegestell</li> </ul>
21.	<p><b>Bedieneinheit Bildbearbeiter</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktionen <ul style="list-style-type: none"> <li>o Auswertung und Bearbeitung (Videoschnitt, Bildbearbeitung, Kommentierung) der vom Videooperator ausgelösten Aufzeichnungen der Livebilder in reduzierter Auflösung</li> <li>o Auswertung und Bearbeitung (Videoschnitt, Bildbearbeitung, Kommentierung) der Aufzeichnungen in höchstmöglicher Auflösung nach Landung des UAV und Einlesen des mobilen Massenspeichers <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bei den IR-Aufnahmen muss eine pixelgenaue Auswertung der gemessenen Temperaturen (radiometrische Daten) möglich sein.</li> <li>▪ Durch den gemeinsamen Zeitstempel muss eine zeitsynchrone Anzeige und Bearbeitung des Livebilds der RGB-Kamera und der IR-Kamera möglich sein</li> <li>▪ Eine nachträgliche Skalierung und Veränderung der angezeigten Farbpalette der IR-Bilder muss möglich sein</li> </ul> </li> <li>o Export von aufgezeichneten und bearbeiteten Bildern und Videos in gängigen Formaten (z.B. jpg/mpg) auf gängige mobile Massenspeicher (z.B. USB-Stick, SD-Karte)</li> <li>o Verwaltung der aufgezeichneten und exportierten Bilder und Videos in einer lokalen Datenwolke „Cloud“ innerhalb des verschlüsselten Netzwerkes</li> <li>o Aufbau einer Internetverbindung über das Mobilfunknetz (LTE oder 5G, SIM-Karte wird vom Auftraggeber beigestellt) zum externen Zugriff auf die Cloud</li> </ul> </li> <li>- Bildschirm (Diagonale mind. 14 Zoll)</li> <li>- Maus oder Touchpad</li> <li>- Tastatur</li> <li>- Akku für eine Versorgung der Bedieneinheit für eine Zeit von mind. 1,5 h</li> <li>- Über den Akku gepufferte Möglichkeit zur externen Stromversorgung (230 V)</li> <li>- Anschluss eines externen Monitors über HDMI möglich</li> <li>- Die Leistungsfähigkeit der Hard- und Software ist so zu wählen, dass sämtliche oben beschriebenen Funktionen flüssig ablaufen</li> <li>- Unterbringung von sämtlichen Komponenten in einem verschließbaren Hartplastik- oder Aluminiumkoffer. Der Betrieb muss ohne Entnahme der Komponenten möglich sein.</li> </ul>
22.	<p><b>Bedieneinheit Einsatzleitung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Funktion: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Zeitsynchrone Anzeige des Livebilds der RGB-Kamera (mind. 1280x720 px, 30 Hz) und der IR-Kamera (mind. 640x512 px, 7 Hz) vom Bediener wählbar als Splitscreen, separates Bild oder Überblendung mit variabler Transparenz des IR-Bilds</li> </ul> </li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ Zugriff auf die vom Bildbearbeiter in der lokalen Datenwolke („Cloud“) abgelegten Videosequenzen und Bilder</li> <li>- Berührungsempfindlicher Bildschirm (Diagonale mind. 10 Zoll, Bildschirmhelligkeit mind. 300 cd/m<sup>2</sup>)</li> <li>- Akku für eine Versorgung der Bedieneinheit für eine Zeit von mind. 1,5h</li> <li>- Über den Akku gepufferte Möglichkeit zur externen Stromversorgung (230 V)</li> <li>- Gewicht höchstens 2 kg</li> <li>- Möglichkeit zum Anschluss eines externen Monitors über HDMI (inkl. passendem Kabel mind. 5 m)</li> </ul>
--	---

## Zubehör

Pos.	Bezeichnung/Beschreibung
23.	<b>Akkumulatoren für UAV</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Lithiumakkus</li> <li>- Die Anzahl der angebotenen Akkus ist so zu bemessen, dass in Kombination mit der Ladetechnik aus Pos. 24 ein kontinuierlicher Flugbetrieb des UAVs möglich ist. (Durch eine ausreichende Anzahl von Akkus und eine entsprechend leistungsfähige Ladetechnik muss im Rotationsverfahren stets ein für den Flug ausreichend geladener Akku bereitstehen)</li> <li>- Kapazität des einzelnen Akkus abgestimmt auf die in Pos. 4 beschriebene Flugzeit</li> </ul>
24.	<b>Ladetechnik</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Mikroprozessorgesteuerte Ladetechnik für die in Pos. 19 und 20 (Bedieneinheit Fernpilot und Bedieneinheit Videooperator) und Pos. 23 (Akkumulatoren für UAV) angebotenen Akkus</li> <li>- Einstellungsmöglichkeit zur schonenden Lagerung der Akkus</li> <li>- Eingangsspannung 230 V AC und 12/24 V DC (Fahrzeugstecker) möglich</li> <li>- Inkl. passender Ladestecker und –kabel</li> <li>- Inkl. feuerfester Lagerungsboxen oder –taschen in ausreichender Stückzahl</li> </ul>
25.	<b>Propeller</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 4 Ersatz-Propeller pro Drehrichtung (inkl. passender Kennzeichnung, falls erforderlich inkl. passender Aufnahmen und Befestigungsschrauben)</li> </ul>
26.	<b>Transportboxen</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Stapelbare Transportboxen für sämtliche angebotenen Liefergegenstände der Pos. 1-25 (sofern dort noch nicht gefordert) mit vorgeschchnittener Schaumstoffauskleidung zur sicheren Verlastung des Materials</li> <li>- Dichtigkeit IP 65 nach EN 60529</li> <li>- Material Aluminium oder Hartplastik</li> <li>- Max. Gesamtgewicht je Kiste 30 kg</li> <li>- Breite x Länge x Höhe max. 60 x 120 x 80 cm (Außenmaß)</li> </ul>

## **Dienstleistungen und Support**

<b>Pos.</b>	<b>Bezeichnung/Beschreibung</b>
27.	<b>Einweisung</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Intensive Einweisung von Multiplikatoren in Bedienung und Wartung des Gesamtsystems (8 Personen, maximal 1 Werktag, Montag bis Donnerstag zwischen 8.00 und 15.30 Uhr, in unserer Außenstelle: Galgheide 7, 48291 Telgte)</li><li>- Schulungsunterlagen sind für alle Teilnehmer in Papierform und elektronisch zum Ende der Schulung bereitzustellen.</li></ul>
28.	<b>Support</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- Mind. 1 Jahr (ab Lieferdatum) telefonischer Support montags bis freitags, 9.00-15.00 Uhr</li><li>- Firmware- und Softwareupdates für mindestens 1 Jahr</li></ul>



## Anhang 2: Prototyp des UAV mit geschlossenem und geöffnetem Akku-Fach



### Anhang 3: RGB-Videokamera, Wärmebildkamera und Heatspreader des LED-Scheinwerfers



#### Anhang 4: Steuereinheit UAS des Instituts der Feuerwehr



## Anhang 5: DJI Matrice 300 RTK



Quelle: <https://www.dji.com/de/matrice-300> entnommen am 12.12.2021.

## Anhang 6: Tabelle zur Identifizierung der Gefährdungen

Identifizierung der Gefährdungen						
Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK			Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld	
Quellen	Spezifikationen			Aktuelle Version	1.4	
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen			Datum	12.12.2021	
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming					

  

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
1	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start- und Landezone</li> <li>Flugkorridore</li> <li>Einsatzgebiet</li> <li>Absturzstelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UAS-Einheit der Feuerwehr</li> <li>Hersteller</li> <li>Andere Feuerwehrrkräfte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herstellen der Einsatzbereitschaft</li> <li>Zurücknahme des UAV und Wiederherstellen der Einsatzbereitschaft</li> <li>Steuern des UAV</li> <li>Einweisen/Unterweisen</li> </ul>	<b>Anprall</b> des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - fehlende Erfahrung mit dem System;	1
2	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - unerwartete Reaktion des Systems;	2
3	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	3
4	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Übersteuern der Steuereingaben;	4
5	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox, Müdigkeit, Erkrankung etc.);	5
6	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	6
7	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	7
8	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	8
9	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	9
10	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	10

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
11	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	11
12	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	12
13	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	13
14	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	14
15	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	15
16	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von zu hoher Stromentnahme;	16
17	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	17
18	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	<b>Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen</b> von z. B. Fingern oder Augen	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	18
19	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	19

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
20	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	20
21	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder loser Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	21
22	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	◦ Ladestation ◦ Lager ◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte	◦ Sicherstellen der Einsatzbereitschaft ◦ Lagern und laden des Systems	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund zu hoher Ladeströme;	22
23	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden und Überladen;	23
24	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	24
25	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	◦ Ladestation ◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr	-	<b>Schnittverletzungen</b> der Finger	<b>Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren</b> führen zu einer Schnittverletzung der Finger	25
26	Transport des UAV	◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr	◦ Führen der PKW ◦ Sitzen im PKW	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges entstehen;	26
27	Transport des UAV	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	27

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
28	Transport des UAV	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	28
29	Transport des UAV	-	-	-	<b>Anprall</b> von Teilen des Systems gegen die PKW-Insassen	<b>Mangelhafte oder keine Ladungssicherung</b>	29
30	Inbetriebnahme am Einsatzort	◦ Start- und Landezone ◦ Absturzstelle ◦ Ladestation	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrrkräfte ◦ Andere Einsatzkräfte ◦ Betroffene ◦ Unbeteiligte	◦ Steuern des UAV ◦ Weitere BOS Aufgaben ◦ Aufenthalt in oder an der Einsatzstelle	<b>Anprall</b> des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - unerwartete Reaktion des Systems;	30
31	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	31
32	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Übersteuern der Steuereingaben;	32
33	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Ermüdung, Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox etc.);	33
34	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	34
35	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	35
36	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	36



# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung  (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis  (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
37	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	37
38	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	38
39	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	39
40	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	40
41	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisie der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	41
42	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	42
43	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	43
44	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Starts oder des Ladevorganges entstehen;	44
45	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	45

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung  (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis  (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
46	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	46
47	Inbetriebnahme am Einsatzort	◦ Start- und Landezone	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr	◦ Steuern des UAV	<b>Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen</b> von z. B. Fingern oder Augen	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	47
48	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	48
49	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	49
50	Inbetriebnahme am Einsatzort	◦ Start- und Landezone ◦ Absturzstelle ◦ Ladestation	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte ◦ Andere Einsatzkräfte ◦ Betroffene ◦ Unbeteiligte	◦ Steuern des UAV ◦ Weitere BOS Aufgaben ◦ Aufenthalt in oder an der Einsatzstelle	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	50
51	Einsatz	◦ Start- und Landezone ◦ Flugkorridore ◦ Einsatzgebiet ◦ Absturzstelle	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte ◦ Andere Einsatzkräfte ◦ Betroffene ◦ Unbeteiligte	◦ Steuern des UAV ◦ Weitere BOS Aufgaben ◦ Aufenthalt in oder an der Einsatzstelle	<b>Anprall</b> des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - unerwartete Reaktion des Systems;	51
52	Einsatz	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	52

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
53	Einsatz	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Übersteuern der Steuereingaben;	53
54	Einsatz	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (Ermüdung, Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox etc.);	54
55	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	55
56	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	56
57	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	57
58	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	58
59	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	59
60	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	60
61	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	61
62	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	62

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung  (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis  (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
63	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böen oder einsetzender Starkregen;	63
64	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Flug in extremen Wetterphänomenen wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	64
65	Einsatz	-	-	-	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	65
66	Einsatz	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	66
67	Einsatz	-	-	-	<b>Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen</b> von z. B. Fingern oder Augen	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert werden;	67
68	Einsatz	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	68
69	Einsatz	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	69
70	Einsatz	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - umherfliegende Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube, oder Splitter aufgrund eines Absturzes;	70
71	Einsatz	-	-	-	<b>Schnittverletzungen</b> der Fingern	<b>Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren</b>	71

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
72	Wartung und Instandhaltung	◦ Ladestation ◦ Lager ◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte	◦ Sicherstellen der Einsatzbereitschaft ◦ Lagern und laden des Systems	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	72
73	Wartung und Instandhaltung	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	73
74	Wartung und Instandhaltung	-	-	-	<b>Schnittverletzungen</b> der Fingern	<b>Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren</b>	74

# Anhang 7: Risikoeinschätzung

Auswirkungen (worst case)	Risikoeinschätzung					
	Ausmaß Se	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
		4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit Fr	Wahrscheinlichkeit Pr		Vermeidung Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5
oft	4	hoch	4	möglich	3
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1
selten	2	gering	2		
		vernachlässigbar	1		
				Version	1.3
				Datum	12.12.2021

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
1	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	Anprall des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - fehlende Erfahrung mit dem System;	4	3	4	3	10	ROT	- Anwenden der in der Bachelorarbeit definierten allgemeinen Maßnahmen zur Risikominderung - Aufenthalt in der Nähe der Akkumulatoren sowie der Ladestation nur im Bedarfsfall - Durchführen der Ersteinweisungen und Ausbildung von Fernpiloten auf einem geeignetem Gelände wie z. B. auf einem Modellflugplatz. Verwenden der dortigen Schutzzäune	4	2	1	1	4	GELB	1	
2	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - unerwartete Reaktion des Systems;	4	4	5	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	2	
3	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	3	
4	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Übersteuern der Steuereingaben;	4	4	4	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	4	
5	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox, Müdigkeit, Erkrankung etc.);	4	4	3	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	5	
6	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	4	2	2	3	7	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	6	
7	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	4	2	2	3	7	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	7	
8	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	8	
9	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	9	
10	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	10	
11	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	11	
12	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	4	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	12	
13	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschlücke der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	4	5	5	5	15	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	13	
14	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	14	
15	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	4	3	5	5	13	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	15	
16	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von zu hoher Stromentnahme;	3	4	2	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	1	1	4	GRÜN	16	



Auswirkungen (worst case)	Risikoinschätzung					
	Ausmaß Se	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
		4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit Fr	Wahrscheinlichkeit Pr		Vermeidung Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5
oft	4	hoch	4	möglich	3
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1
seltener	2	gering	2	Datum	12.12.2021
		vernachlässigbar	1		

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
17	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	3	4	5	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	2	3	7	GELB	17	
18	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen von z. B. Fingern oder Augen	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	3	1	1	5	GELB	18	
19	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	3	4	5	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	1	1	4	GRÜN	19	
20	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	2	3	2	3	8	GELB	siehe Ref. Nr. 1	2	3	1	1	5	GRÜN	20	
21	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder loser Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	3	2	2	5	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	1	1	4	GRÜN	21	
22	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund zu hoher Ladeströme;	3	3	5	3	11	ROT	- Anwenden der in der Bachelorarbeit definierten allgemeinen Maßnahmen zur Risikominderung - Anwenden der in der Bachelorarbeitdefinierten Maßnahmen zur Risikominderung bei Akkumulatoren einhalten - Aufenthalt in der Nähe der Akkumulatoren sowie der Ladestation nur im Bedarfsfall	3	3	2	1	6	GELB	22	
23	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden und Überladen;	4	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	23	
24	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	3	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	3	1	6	GELB	24	
25	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	Schnittverletzungen der Finger	Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren führen zu einer Schnittverletzung der Finger	1	2	1	1	4	GRÜN	siehe Ref. Nr. 22	1	2	1	1	4	GRÜN	25	
26	Transport des UAV	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorgangs entstehen;	4	4	2	5	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	3	2	1	6	ROT	26	
27	Transport des UAV	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	4	5	4	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	3	4	1	8	ROT	27	
28	Transport des UAV	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	4	5	3	5	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	3	1	6	ROT	28	
29	Transport des UAV	Anprall von Teilen des Sytems gegen die PKW-Insassen	Mangelhafte oder keine Ladungssicherung	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	29	
30	Inbetriebnahme am Einsatzort	Anprall des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - unerwartete Reaktion des Systems;	4	4	5	4	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	30	

Auswirkungen (worst case)	Risikoinschätzung					
	Ausmaß Se	4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit Fr	Wahrscheinlichkeit Pr		Vermeidung Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5 unmöglich	5	M. Huld
oft	4	hoch	4 möglich	3	
gelegentlich	3	mittel	3 wahrscheinlich	1	Version 1.3
selten	2	gering	2	Datum	12.12.2021
		vernachlässigbar	1		

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
31	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	31	
32	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Übersteuern der Steuereingaben;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	32	
33	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Ermüdung, Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox etc.);	4	4	3	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	33	
34	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	34	
35	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	35	
36	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	36	
37	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	1	1	5	GELB	37	
38	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	38	
39	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	3	1	6	GELB	39	
40	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	3	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	40	
41	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	3	5	5	5	15	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	41	
42	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	3	3	4	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	42	
43	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	3	4	5	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	3	1	6	GELB	43	
44	Inbetriebnahme am Einsatzort	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Starts oder des Ladevorganges entstehen;	3	5	2	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	44	
45	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	3	5	3	1	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	2	1	6	GELB	45	
46	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	3	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	46	



Auswirkungen (worst case)	Risikoinschätzung					
	Ausmaß	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
	Se	4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit Fr	Wahrscheinlichkeit Pr		Vermeidung Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5
oft	4	hoch	4	möglich	3
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1
selten	2	gering	2	Datum	12.12.2021
		vernachlässigbar	1		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
47	Inbetriebnahme am Einsatzort	Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen von z. B. Fingern oder Augen	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	47	
48	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	48	
49	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	2	3	2	3	8	GELB	siehe Ref. Nr. 22	2	2	2	1	5	GRÜN	49	
50	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	2	2	2	5	9	GELB	siehe Ref. Nr. 22	2	2	2	3	7	GRÜN	50	
51	Einsatz	Anprall des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - unerwartete Reaktion des Systems;	4	3	4	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	51	
52	Einsatz	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	4	4	5	4	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	52	
53	Einsatz	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Übersteuern der Steuereingaben;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	53	
54	Einsatz	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (Ermüdung, Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox etc.);	4	3	4	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	54	
55	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	4	4	3	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	55	
56	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	56	
57	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	2	1	5	ROT	57	
58	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	3	1	1	5	ROT	58	
59	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	2	1	5	ROT	59	
60	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	3	1	6	ROT	60	
61	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	2	1	5	ROT	61	
62	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschlücke der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	4	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	62	

	Auswirkungen (worst case)	Risikoinschätzung					
		Ausmaß Se	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
			4	5 - 7	8 - 10	11 - 13	14 - 15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms		4					
irreversibel, Verlust von Fingern		3					
reversibel, medizinische Versorgung		2					
reversibel, Erste Hilfe		1					

Häufigkeit Fr	Wahrscheinlichkeit Pr		Vermeidung Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5
oft	4	hoch	4	möglich	3
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1
Selten	2	gering	2		
		vernachlässigbar	1		
				Datum	12.12.2021

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
63	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böen oder einsetzender Starkregen;	4	5	5	5	15	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	63	
64	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Flug in extremen Wetterphänomenen wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	4	3	1	3	7	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	3	1	6	ROT	64	
65	Einsatz	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	3	3	5	5	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	65	
66	Einsatz	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	3	5	2	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	2	1	6	GELB	66	
67	Einsatz	Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen von z. B. Fingern oder Augen	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert werden;	3	5	2	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	67	
68	Einsatz	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	3	5	3	1	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	68	
69	Einsatz	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	2	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	2	2	2	1	5	GRÜN	69	
70	Einsatz	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - umherfliegende Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube, oder Splitter aufgrund eines Absturzes;	2	3	2	3	8	GELB	siehe Ref. Nr. 22	2	3	2	3	8	GELB	70	
71	Einsatz	Schnittverletzungen der Fingern	Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren	1	3	1	1	5	GRÜN	siehe Ref. Nr. 22	1	3	1	1	5	GRÜN	71	
72	Wartung und Instandhaltung	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	72	
73	Wartung und Instandhaltung	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	2	1	6	GELB	73	
74	Wartung und Instandhaltung	Schnittverletzungen der Fingern	Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren	1	3	3	3	9	GRÜN	siehe Ref. Nr. 22	1	2	1	1	4	GRÜN	74	

## Anhang 8: Beschreibende Darstellung der beschreibenden Funktion

=WENN(ODER(UND(G11=1;ODER(K11=11;K11=12;K11=13));UND(G11=2;ODER(K11=8;K11=9;K11=10));UND(G11=3;ODER(K11=5;K11=6;K11=7));UND(G11=4;K11=4));"GELB";

WENN G11=1 und (K11=11 oder K11=12 oder K11=13) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=2 und (K11=8 oder K11=9 oder K11=10) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=3 und (K11=5 oder K11=6 oder K11=7) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=4 und K11=4 Dann Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN TRUE DANN Ausgabe = GELB

WENN(ODER(UND(G11=1;ODER(K11=4;K11=5;K11=6;K11=7;K11=8;K11=9;K11=10));UND(G11=2;ODER(K11=4;K11=5;K11=6;K11=7));UND(G11=3;K11=4));"GRÜN";

WENN G11=1 UND (K11=4 ODER K11=5 ODER K11=6 ODER K11=7 ODER K11=8 ODER K11=9 ODER K11=10) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=2 UND (K11=4 ODER K11=5 ODER K11=6 ODER K11=7) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=3 UND K11=4 DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN TRUE DANN Ausgabe = GRÜN

WENN(ODER(UND(G11=1;ODER(K11=14;K11=15));UND(G11=2;ODER(K11=11;K11=12;K11=13;K11=14;K11=15));UND(G11=3;ODER(K11=8;K11=9;K11=10;K11=11;K11=12;K11=13;K11=14;K11=15));UND(G11=4;ODER(K11=5;K11=6;K11=7;K11=8;K11=9;K11=10;K11=11;K11=12;K11=13;K11=14;K11=15)));;"ROT";""))

WENN G11=1 UND (K11=14 ODER K11=15) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=2 UND (K11=11 ODER K11=12 ODER K11=13 ODER K11=13 ODER K11=15 ODER K11=14 ODER K11=15) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=3 UND (K11=8 ODER K11=9 ODER K11=10 ODER K11=11 ODER K11=12 ODER K11=13 ODER K11=13 ODER K11=15 ODER K11=14 ODER K11=15) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN G11=4 UND (K11=5 ODER K11=6 ODER K11=7 ODER K11=8 ODER K11=9 ODER K11=10 ODER K11=11 ODER K11=12 ODER K11=13 ODER K11=13 ODER K11=15 ODER K11=14 ODER K11=15) DANN Bedingung erfüllt (TRUE)

WENN TRUE DANN Ausgabe = ROT

---

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass die vorliegende Arbeit von mir selbstständig und ohne unerlaubte Hilfe angefertigt worden ist, insbesondere dass ich alle Stellen, die wörtlich oder annähernd wörtlich aus Veröffentlichungen entnommen sind, durch Zitate als solche gekennzeichnet habe. Ich versichere auch, dass die von mir eingereichte schriftliche Version mit der digitalen Version übereinstimmt. Weiterhin erkläre ich, dass die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde oder Prüfungsstelle vorgelegen hat. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Arbeit der Öffentlichkeit zugänglich gemacht wird. Ich erkläre mich damit einverstanden, dass die Digitalversion dieser Arbeit zwecks Plagiatsprüfung auf die Server externer Anbieter hochgeladen werden darf. Die Plagiatsprüfung stellt keine Zurverfügungstellung für die Öffentlichkeit dar.

Krefeld, 12. Dezember 2021

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Ulbrich', written over a horizontal line.

*Maximilian Ulbrich*

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung  (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis  (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
1	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	<ul style="list-style-type: none"> <li>Start- und Landezone</li> <li>Flugkorridore</li> <li>Einsatzgebiet</li> <li>Absturzstelle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>UAS-Einheit der Feuerwehr</li> <li>Hersteller</li> <li>Andere Feuerwehrrkräfte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Herstellen der Einsatzbereitschaft</li> <li>Zurücknahme des UAV und Wiederherstellen der Einsatzbereitschaft</li> <li>Steuern des UAV</li> <li>Einweisen/Unterweisen</li> </ul>	<b>Anprall</b> des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - fehlende Erfahrung mit dem System;	1
2	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - unerwartete Reaktion des Systems;	2
3	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	3
4	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Übersteuern der Steuereingaben;	4
5	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox, Müdigkeit, Erkrankung etc.);	5
6	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	6
7	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	7
8	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	8
9	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	9
10	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	10

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
11	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	11
12	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	12
13	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Laustärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	13
14	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	14
15	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	15
16	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von zu hoher Stromentnahme;	16
17	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	17
18	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	<b>Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen</b> von z. B. Fingern oder Augen	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	18
19	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	19

**Identifizierung der Gefährdungen**

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
20	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	20
21	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder loser Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	21
22	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	◦ Ladestation ◦ Lager ◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte	◦ Sicherstellen der Einsatzbereitschaft ◦ Lagern und laden des Systems	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund zu hoher Ladeströme;	22
23	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden und Überladen;	23
24	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	24
25	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	◦ Ladestation ◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr	-	<b>Schnittverletzungen</b> der Finger	<b>Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren</b> führen zu einer Schnittverletzung der Finger	25
26	Transport des UAV	◦ Fahrzeug	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr	◦ Führen der PKW ◦ Sitzen im PKW	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges entstehen;	26
27	Transport des UAV	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	27

**Identifizierung der Gefährdungen**

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
28	Transport des UAV	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	28
29	Transport des UAV	-	-	-	<b>Anprall</b> von Teilen des Sytems gegen die PKW-Insassen	<b>Mangelhafte oder keine Ladungssicherung</b>	29
30	Inbetriebnahme am Einsatzort	◦ Start- und Landezone ◦ Absturzstelle ◦ Ladestation	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte ◦ Andere Einsatzkräfte ◦ Betroffene ◦ Unbeteiligte	◦ Steuern des UAV ◦ Weitere BOS Aufgaben ◦ Aufenthalt in oder an der Einsatzstelle	<b>Anprall</b> des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - unerwartete Reaktion des Systems;	30
31	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	31
32	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Übersteuern der Steuereingaben;	32
33	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Ermüdung, Stroke, Hypo-oder Hyperglykämie, Intox etc.);	33
34	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	34
35	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	35
36	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	36



# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
37	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	37
38	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	38
39	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	39
40	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	40
41	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	41
42	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	42
43	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	43
44	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Starts oder des Ladevorganges entstehen;	44
45	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	45

**Identifizierung der Gefährdungen**

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
46	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Brand des Akkumulators</b> führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	46
47	Inbetriebnahme am Einsatzort	◦ Start- und Landezone	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr	◦ Steuern des UAV	<b>Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen</b> von z. B. Fingern oder Augen	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	47
48	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	48
49	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	49
50	Inbetriebnahme am Einsatzort	◦ Start- und Landezone ◦ Absturzstelle ◦ Ladestation	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte ◦ Andere Einsatzkräfte ◦ Betroffene ◦ Unbeteiligte	◦ Steuern des UAV ◦ Weitere BOS Aufgaben ◦ Aufenthalt in oder an der Einsatzstelle	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzungen der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	50
51	Einsatz	◦ Start- und Landezone ◦ Flugkorridore ◦ Einsatzgebiet ◦ Absturzstelle	◦ UAS-Einheit der Feuerwehr ◦ Andere Feuerwehrkräfte ◦ Andere Einsatzkräfte ◦ Betroffene ◦ Unbeteiligte	◦ Steuern des UAV ◦ Weitere BOS Aufgaben ◦ Aufenthalt in oder an der Einsatzstelle	<b>Anprall</b> des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - unerwartete Reaktion des Systems;	51
52	Einsatz	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	52

# Identifizierung der Gefährdungen

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
53	Einsatz	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Übersteuern der Steuereingaben;	53
54	Einsatz	-	-	-	-	<b>Pilotenfehler</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (Ermüdung, Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox etc.);	54
55	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	55
56	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	56
57	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	57
58	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	58
59	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	59
60	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	60
61	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	61
62	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	62

**Identifizierung der Gefährdungen**

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
63	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böen oder einsetzender Starkregen;	63
64	Einsatz	-	-	-	-	<b>Absturz</b> führt zu einer Kollision mit einem Menschen <u>Verursacht durch:</u> - Flug in extremen Wetterphänomenen wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	64
65	Einsatz	-	-	-	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	65
66	Einsatz	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	66
67	Einsatz	-	-	-	<b>Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen</b> von z. B. Fingern oder Augen	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert werden;	67
68	Einsatz	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	68
69	Einsatz	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	69
70	Einsatz	-	-	-	-	<b>Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen</b> führt zu einer Verletzung der Extremitäten <u>Verursacht durch:</u> - umherfliegende Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube, oder Splitter aufgrund eines Absturzes;	70
71	Einsatz	-	-	-	<b>Schnittverletzungen</b> der Fingern	<b>Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren</b>	71

**Identifizierung der Gefährdungen**

Maschine	UAS des IdF, DJI Matrice 300 RTK	Durchführende Personen	M. Ulbrich, B. Schürholt, M. Huld
Quellen	Spezifikationen	Aktuelle Version	1.4
Umfang	die in der Bachelorarbeit definierten Lebensdauerphasen	Datum	12.12.2021
Verfahren	Leitfaden: DIN ISO/TR14121-2, Checkliste: ISO 12100:2010, Anhang B, Brainstorming		

Ref. Nr.	Lebens- dauerphase	Gefährdungs- bereich	Gefährdungssituation		Gefährdung  (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis  (Kausalkette die zu einer Gefährdung führt)	Ref. Nr.
			Personengruppe	Art der Exposition/ Tätigkeit			
72	Wartung und Instandhaltung	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Ladestation</li> <li>◦ Lager</li> <li>◦ Fahrzeug</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ UAS-Einheit der Feuerwehr</li> <li>◦ Andere Feuerwehrkräfte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◦ Sicherstellen der Einsatzbereitschaft</li> <li>◦ Lagern und laden des Systems</li> </ul>	<b>Brandverletzung</b> von z. B. der Haut und den Augen	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	72
73	Wartung und Instandhaltung	-	-	-	-	<b>Brand der Akkumulatoren</b> während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen <u>Verursacht durch:</u> - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	73
74	Wartung und Instandhaltung	-	-	-	<b>Schnittverletzungen</b> der Fingern	<b>Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren</b>	74

Risikoeinschätzung						
Auswirkungen (worst case)	Ausmaß	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
	Se	4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
Irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit	Fr	Pr	Vermeidung	Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5	M. Huld
oft	4	hoch	4	möglich	3	
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1	Version 1.3
selten	2	gering	2		Datum	12.12.2021
		vernachlässigbar	1			

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
1	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	Anprall des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - fehlende Erfahrung mit dem System;	4	3	4	3	10	ROT	- Anwenden der in der Bachelorarbeit definierten allgemeinen Maßnahmen zur Risikominderung - Aufenthalt in der Nähe der Akkumulatoren sowie der Ladestation nur im Bedarfsfall - Durchführen der Ersteinweisungen und Ausbildung von Fernpiloten auf einem geeignetem Gelände wie z. B. auf einem Modellflugplatz. Verwenden der dortigen Schutzzäune	4	2	1	1	4	GELB	1	
2	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - unerwartete Reaktion des Systems;	4	4	5	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	2	
3	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	3	
4	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Übersteuern der Steuereingaben;	4	4	4	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	4	
5	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox, Müdigkeit, Erkrankung etc.);	4	4	3	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	5	
6	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	4	2	2	3	7	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	6	
7	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	4	2	2	3	7	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	7	
8	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	8	
9	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	9	
10	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	10	
11	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	11	
12	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	4	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	12	
13	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	4	5	5	5	15	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	13	
14	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	3	1	1	5	ROT	14	
15	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	4	3	5	5	13	ROT	siehe Ref. Nr. 1	4	2	1	1	4	GELB	15	
16	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von zu hoher Stromentnahme;	3	4	2	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	1	1	4	GRÜN	16	

		Risikoinschätzung					
Auswirkungen (worst case)	Ausmaß Se	Klasse CI (Fr+Pr+Av)					
		4	5-7	8-10	11-13	14-15	
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4						
irreversibel, Verlust von Fingern	3						
reversibel, medizinische Versorgung	2						
reversibel, Erste Hilfe	1						

Häufigkeit		Wahrscheinlichkeit		Vermeidung		Durchführende Personen		M. Ulbrich	
Fr		Pr		Av				B. Schürholt	
ständig	5	sehr hoch		unmöglich	5			M. Huld	
oft	4	hoch		möglich	3				
gelegentlich	3	mittel		wahrscheinlich	1	Version		1.3	
selten	2	gering			2	Datum		12.12.2021	
		vernachlässigbar		1					

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
17	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	3	4	5	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	2	3	7	GELB	17	
18	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen von z. B. Fingern oder Augen	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	3	1	1	5	GELB	18	
19	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	3	4	5	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	1	1	4	GRÜN	19	
20	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	2	3	2	3	8	GELB	siehe Ref. Nr. 1	2	3	1	1	5	GRÜN	20	
21	Ersteinweisung und Ausbildung von Fernpiloten	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder loser Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	3	2	2	5	9	ROT	siehe Ref. Nr. 1	3	2	1	1	4	GRÜN	21	
22	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund zu hoher Ladeströme;	3	3	5	3	11	ROT	- Anwenden der in der Bachelorarbeit definierten allgemeinen Maßnahmen zur Risikominderung - Anwenden der in der Bachelorarbeitdefinierten Maßnahmen zur Risikominderung bei Akkumulatoren einhalten - Aufenthalt in der Nähe der Akkumulatoren sowie der Ladestation nur im Bedarfsfall	3	3	2	1	6	GELB	22	
23	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden und Überladen;	4	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	23	
24	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - Bruch der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zellen des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. durch Absturz des UAV oder Sturz des Akkumulators;	3	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	3	1	6	GELB	24	
25	Lagerung und Sicherstellung der Einsatzbereitschaft	Schnittverletzungen der Finger	Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren führen zu einer Schnittverletzung der Finger	1	2	1	1	4	GRÜN	siehe Ref. Nr. 22	1	2	1	1	4	GRÜN	25	
26	Transport des UAV	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges entstehen;	4	4	2	5	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	3	2	1	6	ROT	26	
27	Transport des UAV	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	4	5	4	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	3	4	1	8	ROT	27	
28	Transport des UAV	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	4	5	3	5	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	3	1	6	ROT	28	
29	Transport des UAV	Anprall von Teilen des Sytems gegen die PKW-Insassen	Mangelhafte oder keine Ladungssicherung	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	29	
30	Inbetriebnahme am Einsatzort	Anprall des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - unerwartete Reaktion des Systems;	4	4	5	4	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	30	

Risikoeinschätzung						
Auswirkungen (worst case)	Ausmaß	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
	Se	4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit	Fr	Wahrscheinlichkeit	Pr	Vermeidung	Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5		M. Huld
oft	4	hoch	4	möglich	3		
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1	Version	1.3
selten	2	gering	2			Datum	12.12.2021
		vernachlässigbar	1				

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
31	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	31	
32	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Übersteuern der Steuereingaben;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	32	
33	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (z. B. Ermüdung, Stroke, Hypo- oder Hyperglykämie, Intox etc.);	4	4	3	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	33	
34	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	34	
35	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	35	
36	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	36	
37	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	1	1	5	GELB	37	
38	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	38	
39	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	3	1	6	GELB	39	
40	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	3	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	40	
41	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	3	5	5	5	15	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	41	
42	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böhen oder einsetzender Starkregen;	3	3	4	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	42	
43	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Flug in extremen Wetterphänomene wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	3	4	5	5	14	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	3	1	6	GELB	43	
44	Inbetriebnahme am Einsatzort	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Starts oder des Ladevorganges entstehen;	3	5	2	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	44	
45	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	3	5	3	1	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	2	1	6	GELB	45	
46	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Brand des Akkumulators führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen aufgrund des Ladens von tiefenentladenen Akkumulatoren sowie dem dauerhaften Laden oder Überladen von Akkumulatoren;	3	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	46	



Auswirkungen (worst case)	Risikoeinschätzung					
	Ausmaß	Klasse CI (Fr+Pr+Av)				
	Se	4	5-7	8-10	11-13	14-15
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4					
irreversibel, Verlust von Fingern	3					
reversibel, medizinische Versorgung	2					
reversibel, Erste Hilfe	1					

Häufigkeit	Fr	Wahrscheinlichkeit	Pr	Vermeidung	Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5	sehr hoch	5	unmöglich	5		M. Huld
oft	4	hoch	4	möglich	3		
gelegentlich	3	mittel	3	wahrscheinlich	1	Version	1.3
selten	2	gering	2			Datum	12.12.2021
		vernachlässigbar	1				

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
47	Inbetriebnahme am Einsatzort	Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen von z. B. Fingern oder Augen	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert oder Akkumulatoren eingesetzt/ getauscht werden;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	47	
48	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	48	
49	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	2	3	2	3	8	GELB	siehe Ref. Nr. 22	2	2	2	1	5	GRÜN	49	
50	Inbetriebnahme am Einsatzort	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzungen der Extremitäten Verursacht durch: - umherfliegenden Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube;	2	2	2	5	9	GELB	siehe Ref. Nr. 22	2	2	2	3	7	GRÜN	50	
51	Einsatz	Anprall des UAV mit maximaler Energie, gegen den ungeschützten Kopf	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - unerwartete Reaktion des Systems;	4	3	4	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	51	
52	Einsatz	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unbehagen und Stress, ausgelöst durch nicht stabilisierte Bewegung des UAV (z. B. Abdriften oder Steigen, Sinken ohne Befehl), Annäherung eines anderen fliegenden Objektes, Versagensängste, Angst vor Beschädigung des Systems mit verbunden Konsequenzen;	4	4	5	4	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	52	
53	Einsatz	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Übersteuern der Steuereingaben;	4	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	53	
54	Einsatz	-	Pilotenfehler führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Einschränkung der körperlichen und kognitiven Leistungsfähigkeit (Ermüdung, Stroke, Hypo-oder Hyperglykämie, Intox etc.);	4	3	4	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	54	
55	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Überschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Bruch der Rotornabe;	4	4	3	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	55	
56	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Unterschreiten des Drehmomentes der Motorkopfschraube und Verlust dieser im Flug;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	56	
57	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Vorbeschädigung eines oder mehrerer Rotoren durch Lagerung oder Transport;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	2	1	5	ROT	57	
58	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Kollision mit Objekten in der Luft oder am Boden z. B. mit anderen UAV, Hubschraubern, Bäumen, Vögeln o. ä.;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	3	1	1	5	ROT	58	
59	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Ausfall flugrelevanter Bauteile z. B. Flugsteuerung, Energieversorgung, Antrieb;	4	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	2	1	5	ROT	59	
60	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Brand aufgrund eines Kurzschlusses, oder des thermischen Durchgehens des Akkumulators aufgrund von Belastung oder Bruch der Isolationschichten;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	3	1	6	ROT	60	
61	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Verwendung defekter oder teilgeladener Akkumulatoren;	4	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	2	1	5	ROT	61	
62	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Störung der Sprachkommunikation oder Störung der akustischen Signale aufgrund der Geräuschkulisse der Einsatzstelle sowie Lautstärke der Rotoren bei bodennahen Flugmanövern wie Start und Landung oder fehlende Verwendung einer allseits bekannten Phraseologie;	4	3	5	3	11	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	62	

		Risikoinschätzung					
Auswirkungen (worst case)	Ausmaß Se	Klasse CI (Fr+Pr+Av)					
		4	5-7	8-10	11-13	14-15	
Tod, Verlust eines Auges oder Arms	4						
irreversibel, Verlust von Fingern	3						
reversibel, medizinische Versorgung	2						
reversibel, Erste Hilfe	1						

Häufigkeit Fr	Wahrscheinlichkeit Pr	Vermeidung Av	Durchführende Personen	M. Ulbrich B. Schürholt
ständig	5 sehr hoch	5 unmöglich	5	M. Huld
oft	4 hoch	4 möglich	3	
gelegentlich	3 mittel	3 wahrscheinlich	1	Version 1.3
seltener	2 gering	2	Datum	12.12.2021
	vernachlässigbar	1		

Ref. Nr.	Lebensdauerphase	Gefährdung (Art der Verletzung)	Gefährdungsereignis (Kausalkette, die zu einer Gefährdung führt)	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Risikominderung, Schutzmaßnahme oder Begründung, wieso keine erforderlich sind	Se	Fr	Pr	Av	CI	Risk	Ref. Nr.	Kommentar/ Begründung
63	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - sich plötzlich ändernde Witterungsbedingungen wie Gewitter, Böen oder einsetzender Starkregen;	4	5	5	5	15	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	1	1	4	GELB	63	
64	Einsatz	-	Absturz führt zu einer Kollision mit einem Menschen Verursacht durch: - Flug in extremen Wetterphänomenen wie Flug in Lee- oder Fallwinden;	4	3	1	3	7	ROT	siehe Ref. Nr. 22	4	2	3	1	6	ROT	64	
65	Einsatz	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	3	3	5	5	13	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	65	
66	Einsatz	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	3	5	2	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	2	1	6	GELB	66	
67	Einsatz	Schnitt-, Penetrations- und Amputationsverletzungen von z. B. Fingern oder Augen	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - Anlaufen der Motoren während Rotoren montiert werden;	3	5	2	3	10	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	2	1	5	GELB	67	
68	Einsatz	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - Kontakt mit Rotoren bei laufenden Motoren;	3	5	3	1	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	68	
69	Einsatz	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - Einziehen von Haaren oder loser Kleidung;	2	5	4	3	12	ROT	siehe Ref. Nr. 22	2	2	2	1	5	GRÜN	69	
70	Einsatz	-	Kontakt zu sich schnell bewegenden Rotoren oder Rotorteilen führt zu einer Verletzung der Extremitäten Verursacht durch: - umherfliegende Teile wie Rotoren oder Rotorteilen aufgrund einer mechanischen Belastung wie Absturz, Kollision, Bruch oder lose Rotornabe aufgrund eines zu großen oder zu kleinen Drehmomentes beim Anziehen der Motorkopfschraube, oder Splitter aufgrund eines Absturzes;	2	3	2	3	8	GELB	siehe Ref. Nr. 22	2	3	2	3	8	GELB	70	
71	Einsatz	Schnittverletzungen der Fingern	Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren	1	3	1	1	5	GRÜN	siehe Ref. Nr. 22	1	3	1	1	5	GRÜN	71	
72	Wartung und Instandhaltung	Brandverletzung von z. B. der Haut und den Augen	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund von hohen Temperaturen, die unter der Belastung während des Ladevorganges und des Flugbetriebes entstehen;	3	3	2	3	8	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	2	1	1	4	GRÜN	72	
73	Wartung und Instandhaltung	-	Brand der Akkumulatoren während der Lagerung oder während des Ladevorgangs führt zur Verletzung von Betroffenen Verursacht durch: - thermisches Durchgehen des Akkumulators aufgrund eines Bruches der Isolationschichten und Kurzschluss der einzelnen Zelle des Akkumulators aufgrund einer mechanischen Beschädigung z. B. Penetration oder Sturz des Akkumulators;	3	3	3	3	9	ROT	siehe Ref. Nr. 22	3	3	2	1	6	GELB	73	
74	Wartung und Instandhaltung	Schnittverletzungen der Fingern	Kontakt zu scharfen Kanten der Rotoren	1	3	3	3	9	GRÜN	siehe Ref. Nr. 22	1	2	1	1	4	GRÜN	74	