

Haftungsausschluss: *Dieses Dokument wurde sorgfältig von den Experten der vfdb erarbeitet und vom Präsidium der vfdb verabschiedet. Der Verwender muss die Anwendbarkeit auf seinen Fall und die Aktualität der ihm vorliegenden Fassung in eigener Verantwortung prüfen. Eine Haftung der vfdb und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.*

Vertragsbedingungen: *Die vfdb verweist auf die Notwendigkeit, bei Vertragsabschlüssen unter Bezug auf vfdb-Dokumente die konkreten Leistungen gesondert zu vereinbaren. Die vfdb übernimmt keinerlei Regressansprüche, insbesondere auch nicht aus unklarer Vertragsgestaltung.*

Inhalt:

1	Vorbemerkung	2
1.1	Auswahlkriterien	2
2	Grundlagen zur Nutzung	3
2.1	Besonderheiten und Risiken im Einsatz	3
3	Grundlagen zu technischen Anforderungen und zur Beschaffung	8
3.1	UAV-Klassen	8
3.2	Antriebsart	9
3.3	Masse (Abfluggewicht) und Handling	9
3.4	Transport	10
3.5	Rüstzeit	11
3.6	Flugzeit	11
3.7	Feuchtigkeit/Stäube	12
3.8	Materialien	14
3.9	Auswahl des Systems	17
3.10	Unterstützungs-/Sicherheitseigenschaften (Hard-/Software)	20
4	Datensicherheit	23
5	Bildnachweise	23
6	Glossar	24
7	Hinweise	24

Vereinigung zur Förderung des Deutschen Brandschutzes e.V.
Postfach 4967, 48028 Münster

1 Vorbemerkung

Mit fortschreitender technischer Entwicklung ist absehbar, dass mobile Robotersysteme künftig zunehmend Aufgaben übernehmen können, um die Einsatzabwicklung effektiver und sicherer für Einsatzkräfte, gefährdete Menschen und andere Schutzgüter zu gestalten.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums“ werden zu diesen Technologien Merkblätter entwickelt. Dieses Merkblatt ist der Auftakt einer Reihe, die sich mit Leistungsparametern für luft- und bodengestützte Systeme, Gefährdungsanalysen, Zertifizierungsfragen und Ausbildungsinhalten beschäftigen wird.

1.1 Auswahlkriterien

Die Entscheidung für ein UAV (unmanned aerial vehicle) sollte nicht allein auf Basis von Informationen aus dem Informationsmaterial der Hersteller, Erfahrungsberichten anderer Einheiten oder dem Platzangebot in den Einsatzfahrzeugen getroffen werden. Nicht jedes unbemannte Fluggerät ist, auf Grund technischer und physikalischer Limitierungen, für alle Einsatzzwecke bei den BOS (Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben) geeignet. Verschiedene Evaluierungen zur Anwendung, den Risiken, Unfällen und der technischen Entwicklung, sowie die Ergebnisse von Erprobungen seit 2012 haben gezeigt, dass eine Unterscheidung der einzelnen Aufbauten für unterschiedliche Einsatzzwecke sinnvoll erscheint.

Diese grundlegenden Kriterien sollten hierbei primär betrachtet werden:

- UAV und Antrieb
- Größe und Masse (Abfluggewicht)
- Flugzeit
- Physikalische Eigenschaften (Material/IP-Schutzklassen)
- Einsatzszenarien
- Nutzlast/Anbauteile (Payload)
- Unterstützungs-/Sicherheitseigenschaften (Hard- und Software / Sensoren)
- Datensicherheit

Die genannten Kriterien sind u.a. Kenngrößen einer Leistungsbeschreibung im Rahmen der Beschaffung eines Einsatzhilfsmittels „Drohne“. Dabei sollte der finanzielle Aspekt nicht eine Minimierung der Sicherheit im Einsatz hervorrufen. Zum derzeitigen Zeitpunkt befinden sich bereits viele UAV im Einsatz bei BOS, die für den kommerziellen Markt technisch ausgereift sind. Leider bieten diese Systeme nicht alle sicherheitsrelevanten Voraussetzungen für einen Einsatz unter allen einsatztaktisch relevanten Umständen. Bei der Beschaffung sollte generell auf einen Mindeststandard von sicherheitsrelevanten Hard- und Softwareanforderungen geachtet werden.

Eine explizite Betrachtung der Vor- und Nachteile von (Einweg-)Mini-Drohnen findet in diesem Merkblatt nicht statt, wodurch eine entsprechende Nutzung jedoch nicht ausgeschlossen werden soll.

2 Grundlagen zur Nutzung

2.1 Besonderheiten und Risiken im Einsatz

Bei der bemannten Luftfahrt sind die Auswirkungen von meteorologischen Einflüssen (Witterung) durch Eisbildung, Turbulenzen, Gewitter und andere Umwelteinflüsse bekannt. In der unbemannten Luftfahrt haben diese Einflüsse viel größere Auswirkungen auf das Flugverhalten und die Bedienung des UAV. Im Folgenden werden bestimmte Einflüsse und Auswirkungen erläutert, die bei den Planungen beachtet werden sollten.

Um die weiteren Erklärungen verstehen zu können, zeigt das Schaubild „Bewegung im Raum“, wie sich die Bewegungen eines UAV zu den bekannten Bewegungsmustern einer Einsatzkraft unterscheiden. Eine Einsatzkraft bewegt sich im Normalfall im dreidimensionalen Raum nur in den vier Grundrichtungen vorwärts, rückwärts, rechts und links. Ein UAV hat eine etwas andere Bewegungsebene in diesem dreidimensionalen Raum. Neben den gerade beschriebenen Bewegungsrichtungen kommen bei einem fliegenden Objekt noch die Bewegungen oben und unten hinzu, was zu einer kugelförmigen Bewegungsebene vereint werden kann, wogegen die Einsatzkraft sich in einer planaren Bewegungsebene befindet.

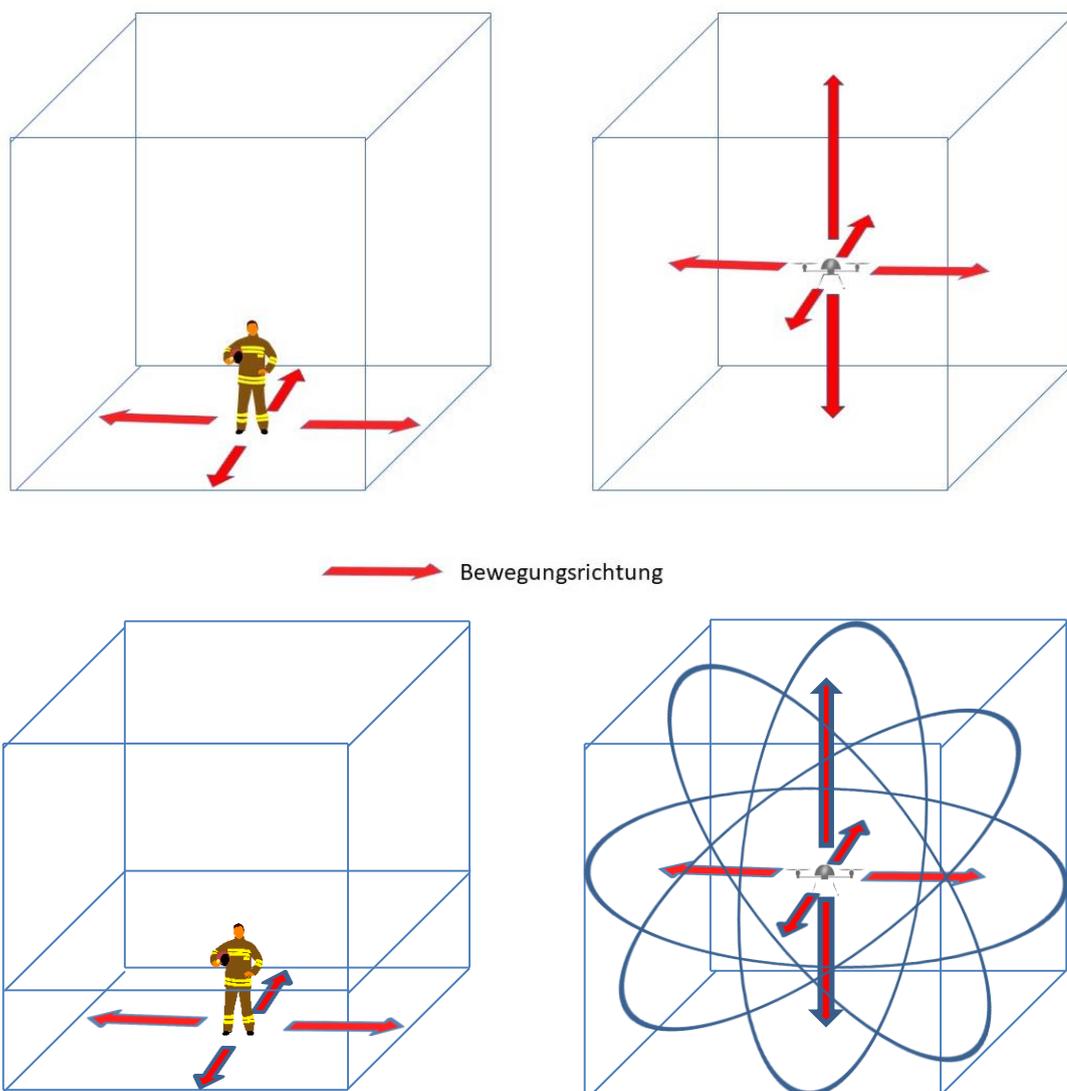


Abbildung 1: Schaubild „Bewegung im Raum“

2.1.1 Wind

Durch diese Bewegungsebenen entstehen aber auch gänzlich unterschiedliche Einflüsse durch Wind. Während bei bodengebundenen Einsatzkräften der Wind auch gewisse Einflüsse auf die Bewegung hat, so sind diese Auswirkungen um ein Vielfaches höher bei fliegenden Systemen.

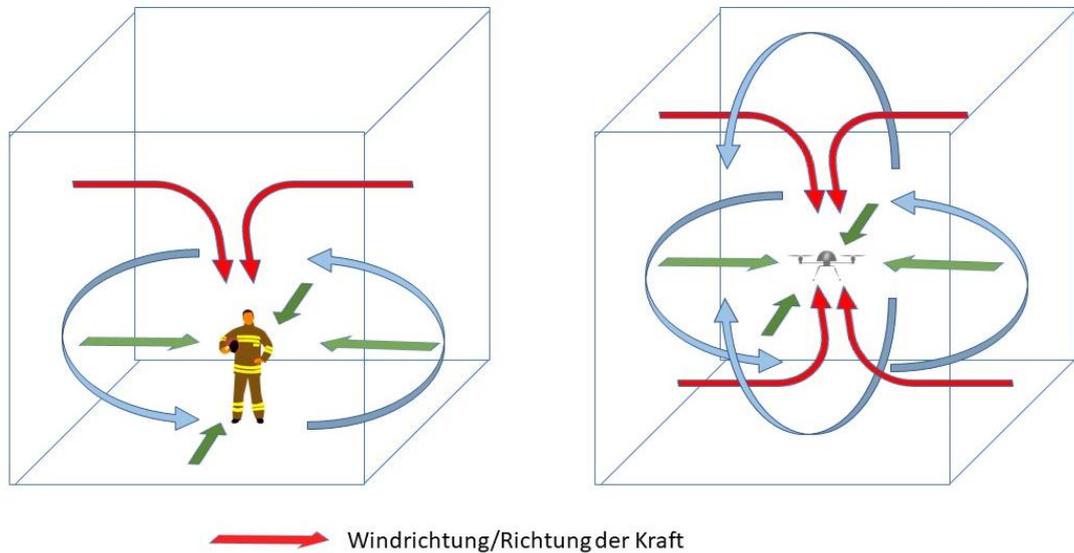


Abbildung 2: Kräfteinwirkung von Wind im dreidimensionalen Raum

Um zu verstehen, welche Unterschiede gemeint sind, stellt die folgende Grafik vereinfacht dar, wie sich die Kräfteinwirkung des Windes auf eine Einsatzkraft oder ein UAV auswirkt.

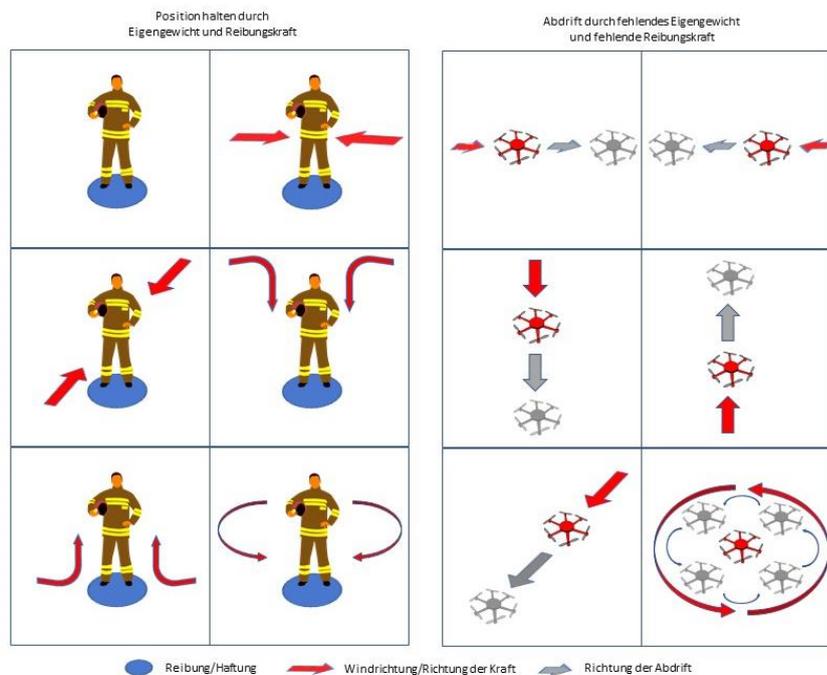


Abbildung 3: Kräfteinwirkung von Wind

Durch Luftströmungen wirkt auf ein UAV eine Kraft ein. Auf diese Kraft muss eine entsprechende Gegenkraft einwirken, damit das UAV nicht abgetrieben wird. Für eine Aufwärts- und Vorwärtsbewegung wird Kraft benötigt, die im Fachjargon Schub genannt wird. Ein notwendiges Schub-Gewicht-Verhältnis für das Abheben (und den Flug) liegt bei über 1 (Schubkraft geteilt durch Gewichtskraft). Hinzu kommt, je leichter ein UAV ist, wird das Risiko durch die Windlast abgetrieben zu werden größer (Angriffsfläche im Verhältnis zur Masse).

Ein Risiko ist bei unzureichender Motorleistung und fehlender Sicherheitsreserve, dass die Motoren den Akkumulator durch die benötigte Mehraufnahme schneller entladen. Ein weiteres Risiko ist der thermisch, molekulare Schaden durch häufige Überhitzung der Kabelummantelung der Spulen auf Grund des erhöhten Stromdurchflusses. Dieses kann bei einem Bruch der Kabelisolierung zu einem Kurzschluss in der Motorenwicklung und somit zum Absturz führen. Um diesem Punkt mit einer ausreichenden Sicherheit zu begegnen und zudem einen agilen Flug zu gewährleisten, kann pauschalisiert ein Schub-Gewicht-Verhältnis von min. 1,5 eingeplant werden.

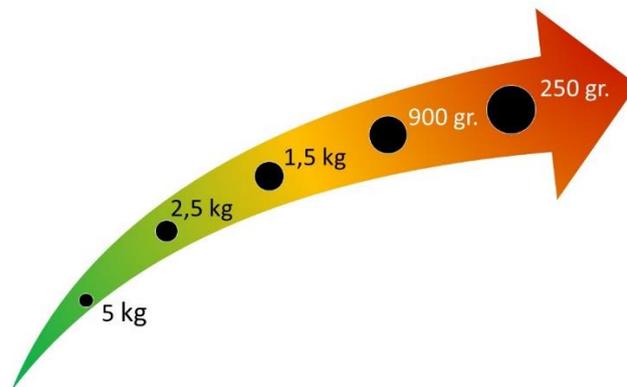


Abbildung 4: Benötigte Kraft gegen Abdrift im Verhältnis Masse/Schub

Es ist besonders wichtig zu beachten, dass nicht überall mit den gleichen Windstärken zu rechnen ist. Im Internetportal des Deutschen Wetterdienstes (DWD) erhalten Sie detaillierte Windkarten.

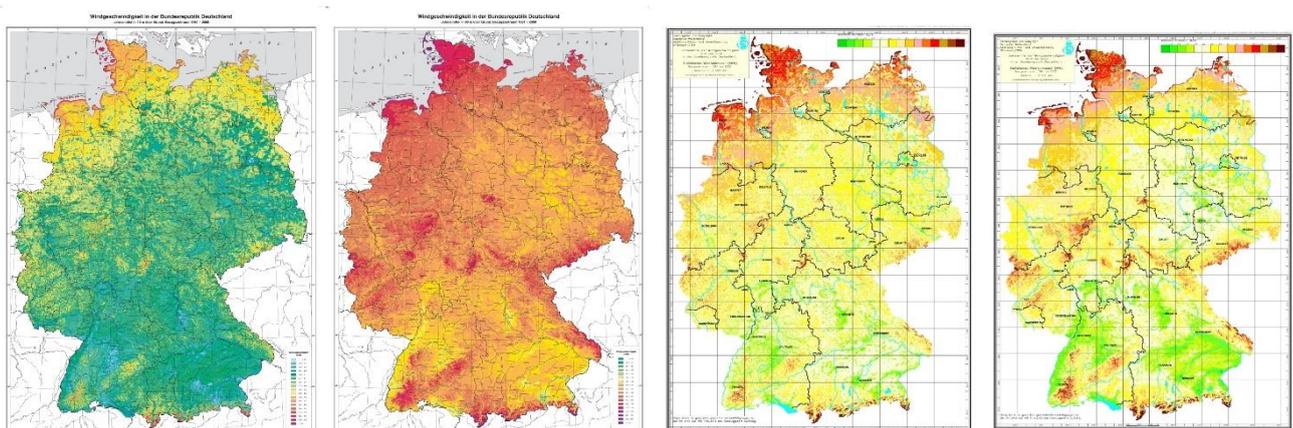


Abbildung 5: Windkarten des DWD

Dieses Kartenmaterial ist mit 200m- oder 1km-Raster für 10m und 80m über Grund erhältlich. Auf diesen können die durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten im entsprechenden Einsatzgebiet abgelesen und so für eine entsprechende Erst-Einschätzung herangezogen werden.

2.1.2 Kinetische Energie (Absturz) – Sicherheit der Einsatzkräfte

Die kinetische Energie oder auch Bewegungsenergie ist die Energie, die ein Objekt aufgrund seiner Bewegung enthält. Wie in der Tabelle zu sehen ist, bestände schon bei der heutigen Technik die Möglichkeit, mit den Leichtgewichten unter den UAV (250 g oder mehr) in den Bereich des Luftverkehrsgesetz (LuftVG) zu fallen, sobald bei einem Absturz eine Energie von über 80 Joule (J) erreicht wird. Hierzu gibt es entsprechende Zusammenhänge über eine etwaige Flughöhen- oder Gewichtsgrenze z.B. 250 g bei 32 m (vgl. Abbildung 6).

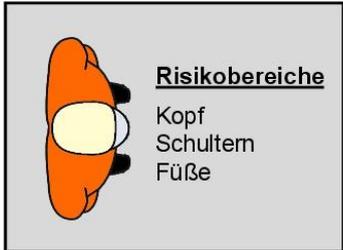
Das bedeutet aber auch, dass alle gewerblichen (externen) Fernpiloten, die beispielsweise eine der verbreiteten Consumermarkt-UAV bei den BOS einsetzen möchten und nicht unter die Privilegierung des §21k LuftVO fallen, auf jeden Fall einen Kenntnis-/Kompetenznachweise und eine gewerbliche Luftfahrthaftpflicht benötigen.

MTOW (kg) ¹⁾	max. Flughöhe (m) ²⁾	UAV-Klassen ³⁾
0,10	80	C0
0,25	32	
0,40	20	C1
0,50	16	
0,90	9	
1,00	9	C2
1,50	5	
2,00	4	
2,50	3	
3,00	2	
3,50	2	
4,00	2	
4,50	1	C3 C4
≥ 5,00	1	

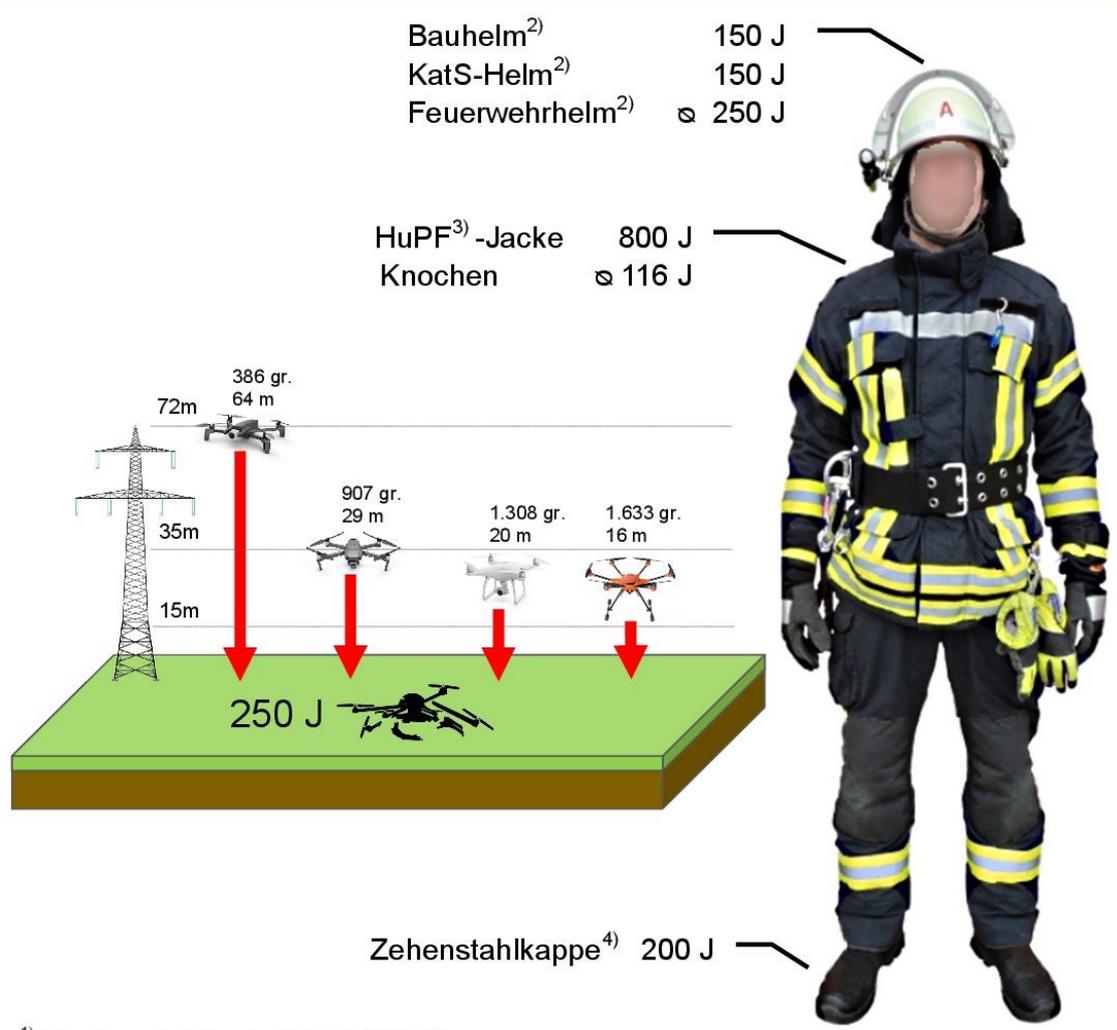
- ¹⁾ Maximum Take Off Weight (Maximales Abfluggewicht)
- ²⁾ Statischer Flug ohne Vorschub
- ³⁾ Delegierten Verordnung (EU) 2020/1058

Abbildung 6: UAV-Klassen hinsichtlich Abfluggewicht und Flughöhe gemäß LuftVG (theoretische Absturz-Energie größer 80 J)

Aus der Betrachtung der kinetischen Energie, die durch einen möglichen Absturz eines UAV entstehen kann, ergeben sich sicherheitstechnische Aspekte für die handelnden Einsatzkräfte. Nachfolgend ist exemplarisch dargestellt, welchen energetischen Risiken eine ausgerüstete Einsatzkraft maximal ausgesetzt ist bzw. welche Kräfte maximal bei einem Absturz eines UAV wirksam werden.



max. PSA-Schutzwirkung¹⁾ bei einem Drohnen-Einschlag
PSA-Kategorie II - mittleres Risiko:



¹⁾ Schwellenwert, ab dem das Material bricht/reißt
²⁾ DIN EN14052 / EN 16473:2015-3 / EN 443:2008-06 / EN 16471:2015-03
³⁾ EN ISO 13934-1, entspricht Maschinenschutzkleidung gem. EN 510:1993
⁴⁾ DIN EN14052

Abbildung 7: UAV und PSA (Persönliche Schutzausrüstung)

3 Grundlagen zu technischen Anforderungen und zur Beschaffung

3.1 UAV-Klassen

Am Markt verfügbar sind folgende Gewichtsklassen von unbemannten Fluggeräten ,(angelehnt an die Delegierten Verordnung (EU) 2020/1058):

- „Mini-UAV“ bis 250 gr.
- Klein-UAV bis 2 kg
- UAV bis 5 kg
- UAV bis 25 kg
- UAV ab 25 kg

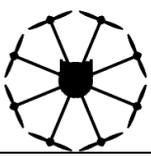
	„Mini-UAV“	
	Quadrokopter	
	Hexakopter	
	Octokopter	
	Starrflügler	
	VTOL-Starrflügler	
	Helikopter	

Abbildung 8: Schematische Darstellung UAV-Klassen

3.2 Antriebsart

Aktuell unterscheidet man zwischen zwei Antriebsarten im unbemannten Flugbetrieb

- Verbrennungsmotoren
- Elektromotoren

Im Bereich der unbemannten Luftfahrtgeräte bis 25kg Abfluggewicht hat sich der elektrische Antrieb mittels Akkumulatoren als aktuelles technisches und wirtschaftliches Mittel der Wahl etabliert. Für eine Beschaffung spielt in diesem Fall das Verhältnis zwischen Energiebedarf der Motoren und Energiebereitstellung durch Akkumulatoren eine wichtige Rolle, da es unmittelbaren Einfluss auf die Flugzeit und damit Einsatzverfügbarkeit in der Luft hat. Eine Betrachtung kabelgebundener UAV findet an dieser Stelle nicht statt.

Als Akkumulatoren haben sich Lithium-Polymer-Akkumulatoren (LiPo) durchgesetzt. Fragen, die sich in diesem Zusammenhang bei der Beschaffung ergeben und gestellt werden müssen, sind unter anderem die nach

- der Ersatz-/Beschaffung,
- der Kapazität (mAh (Standard-LiPo, None-Explosion-LiPo, HighCapacity-LiPo)),
- den maximalen Ladezyklen,
- der Akku-Ladesicherheit (Balancing, Zusammensetzung der Inhaltstoffe, Anordnung der Zellen),
- der Transportsicherheit (ADR, GGVS, Transportbehälter),
- der Handhabungssicherheit (Standardanschluss (Modellbau), Herstellereigen),
- der Temperaturbeständigkeit (Betriebstemperatur, Arbeitsbereich) und
- Lagerung und Aufbewahrung der Akkus (Akku Safe).

Eine ebenfalls wichtige Frage ist die nach der möglichen Aufrüstmöglichkeit, um mit größerer und/oder verringerter Ladefähigkeit mehr Flugzeit zu erhalten.

3.3 Masse (Abfluggewicht) und Handling

Das UAV sollte von seinem maximalen Abfluggewicht an die potenziellen Einsatzlagen, die möglichen Einflussituationen (Witterung, etc.) und die vorgehaltenen Nutzlasten angepasst sein, um im Notfall Reserven für zusätzlichen Schub oder Leistungsreserven für eine kurzfristig höhere Lastaufnahme zu haben. Es ist empfehlenswert, einen Sicherheitspuffer von 30% des max. geplanten Abfluggewichtes zum maximalen Abfluggewicht des UAV einzuplanen.

Unter dem Punkt 2.1.1 wurde als erster Ansatz ein notwendiges Schub-Gewichts-Verhältnis von 1,5 angeführt, somit sollte eine zusätzliche Schubkraft von 50% des UAV Abfluggewichtes eingeplant werden. Dieser Ansatz ist als Mindestanforderung zu sehen.

Der Schub gibt an, wie viel Luftmasse der Antrieb (Motor + Propeller) in eine Richtung bewegt. Diese Masse wirkt als Kraft in entgegengesetzter Richtung auf das Antriebssystem. Korrekterweise müsste man den Schub in Newton (N) angeben. Im Drohnenbereich hat sich jedoch die Angabe in Gramm/Kilogramm etabliert, diese Angabe wird für einen vereinfachten „Leistungsvergleich“ übernommen.

Beispiele:

geplantes Abfluggewicht inkl. Nutzlast (kg)	max. Abfluggewicht UAV (kg)
1,50	2,00
3,00	4,00
5,00	6,50
geplanter Schub (kg)	max. Schub UAV (kg)
2,25	3,00
4,50	6,00
7,50	9,75

Sollte z.B. bei den Berechnungen für die maximale Nutzlast ein maximales Gewicht von 1,5 kg errechnet werden, empfiehlt es sich, ein UAV, welches über einen 30%-igen Leistungspuffer verfügt und damit 0,5 kg mehr Last tragen kann, zu beschaffen.

3.4 Transport

Bei den genannten Vorplanungen zur Beschaffung eines UAV spielen neben den Einsatzszenarien die benötigten Sensoren (optisch, elektronisch, akustisch, u.v.a.) eine wichtige Rolle. Das sich daraus ergebende maximale Abfluggewicht hat unmittelbaren Einfluss auf die Baugröße und Bauform des UAV. Aus diesem Grund sollten bei der Planung folgende Punkte mit bedacht werden:

- a) Bei bereits vorhandenen Fahrzeugen: Maximaler Stauraum, der zur Verfügung steht.
- b) Bei Fahrzeugen in der Planung: Maximaler Stauraum, der verwendet werden kann.

Die maximale Stauraumgröße ermittelt sich aus dem benötigten Platzbedarf für das

- Transportbehälter UAV
- Geeignetes Transportbehälter Zubehör/Akkumulatoren
- Transportbehälter Bodenkontrollstation

Die Möglichkeit, vormontierte UAV ohne spezifische Sicherungsmaßnahmen im Fahrzeug mitzuführen, erscheint aus Gründen des Schutzes vor Beschädigungen durch

- Sturz bei unsachgemäßer Sicherung,
- Anschlagen an Bauteile/Korpus von mitgeführtem ungesichertem Material,
- Materialermüdung auf Grund von Vibrationen/“Schlägen“ bei Geländefahrt,
- Verschmutzung durch Staub und
- Korrosion durch Luftfeuchtigkeit

nicht empfehlenswert.

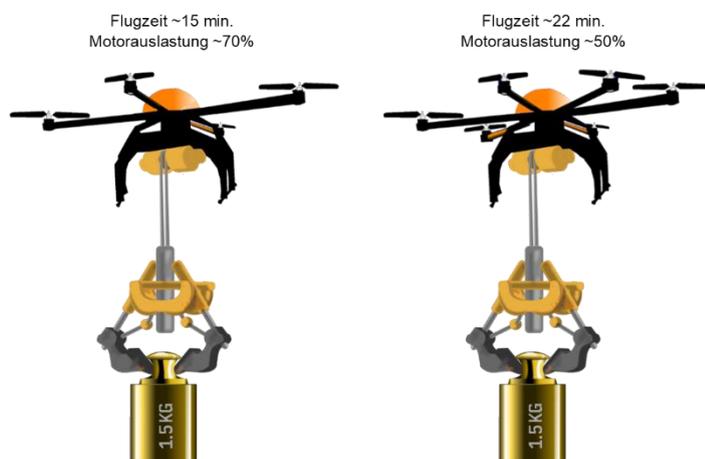
3.5 Rüstzeit

Bei der Planung zum Einsatz eines UAV ist auch die Rüstzeit ein Entscheidungsfaktor, der beachtet werden sollte. Je komplizierter ein UAV-System strukturell aufgebaut ist, umso länger stellt sich die Herstellung der Einsatzbereitschaft dar. Die Rüstzeiten im Einsatz sind bei einem entsprechend angepassten Transportbehältnis jedoch nicht viel länger als bei einem gut gesicherten vormontierten UAV. Auch durch den Aspekt, dass UAV-Einsatzmittel oftmals erst nachgefordert werden und nicht primär in den Einsatz gehen, ergibt sich eine zeitliche Entspannung bei der Rüstzeit.

3.6 Flugzeit

Es galt früher der Grundsatz: Jedes Gramm zu viel kostet eine Sekunde Flugzeit. Auf Grund der rasanten technischen Entwicklung hat sich dieses relativiert. Leistungsstärkere Motoren und Akkumulatoren, leichtere Verbundmaterialien und Kunststoffe haben einen überproportionalen Anstieg der Flugzeiten im Einsatz bewirkt. Trotzdem gibt es bei der Beurteilung der Flugzeit oder Luftstehzeit etwas zu beachten. Als Basis für die folgenden Berechnungen wird als Norm die Standardatmosphäre angenommen.

Die Standardflugzeit im Einsatz sollte einen Wert von 20 min. bei 50% des maximalen Abfluggewichtes bei Normatmosphäre nicht unterschreiten. Damit wird ein ausreichender Sicherheitspuffer gem. 3.3 gewährleistet. Das folgende Beispiel soll verdeutlichen, auf welche Parameter bei der Bewertung der Herstellerdaten geachtet werden muss:



Das im Rahmen einer Leistungsbeschreibung geforderte maximale Abfluggewicht von 3.0 kg und einer mindest Luftstehzeit von 15 min. bei maximaler Nutzlast erreichen beide Systeme. Wobei der hier exemplarisch abgebildete Hexakopter, der bei einer geringeren Motorauslastung und eine deutlich längere Luftstehzeit erreicht, das größere Leistungsspektrum aufweist.

Abbildung 9: Symboldarstellung Flugzeit und Motorauslastung (Quadrokoopter/Hexakopter)

3.7 Feuchtigkeit/Stäube

Eines der größten Probleme für UAV, insbesondere für die verbaute Elektronik, stellen Feuchtigkeit und Stäube dar. Bei der Auswahl der Leistungsparameter ist auf eine entsprechende IP-Schutzstufe zu achten. UAV benötigen eine ausreichende Schutzfunktion vor

- Nebel, Aerosolen, Niesel-/Sprühregen (Tropfen 0,05 - 0,25mm),
- Regen (Tropfen 0,5 – 2,0 mm),
- Schauer (Tropfen 2,0 – 5,0 mm),
- Schnee,
- Staunässe,
- Kondenswasser,
- Salzwasser (Gischt/Luftfeuchtigkeit),
- Staubkorn (0,01 mm) und
- Feinstaub (2,5 – 10,0 Mikrometer),

um die empfindlichen elektronischen Bauteile vor

- Korrosion,
- Zersetzung und
- Kurzschluss

zu schützen.

Bei Einsätzen im Küstenbereich ist darauf zu achten, dass dort ein „Reizklima“ herrscht. Faktoren Wind, UV-Strahlung, Salz, Temperatur und Luftfeuchtigkeit treffen dort zusammen und bilden ein schädliches Milieu für Elektronik und Kunststoffe.

Bei den Verbrennungsvorgängen am Einsatzort entstehen Staubpartikel, die bei unzureichendem Schutz in das System eindringen können.

Bei der Dekontamination von UAV nach einem Einsatz kommen die Systeme mit Sprühnebel, Spritzwasser, Reinigungsmitteln und kontaminierten Fluiden/Lösungen (Wasser-Schadstoff-Gemisch) in Berührung, die nicht in Hohlräume oder andere Bauteile des UAV eindringen sollten.

Der IP-Code (IP-Schutzklasse) ist gemäß IEC 529, EN 60529, DIN VDE 0470-1 und NF C 20-010 festgelegt und bezeichnet den Schutz aktiver Teile gegen Berührung, Eindringen von Fremdkörpern und Wasser. Aus der folgenden Tabelle können die einzelnen Schutzklassen ersehen werden.

3.7.1 IP-Schutzklasse

Die aktuell bei den BOS verwendeten UAV können eine der folgenden IP-Schutzklassen besitzen:

IP 22	steht für eingeschränkter Schutz gegenüber Feuchtigkeit, Schutz gegen tropfendes Wasser mit 15° Neigung, Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser > 12,5 mm
IP 23	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser > 12,5 mm, Schutz gegen Sprühwasser, schräg bis 60°
IP 43	Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser > als 1 mm, Schutz gegen Sprühwasser, Schräg bis 60°
IP 44	steht für Schutz gegen Spritzwasser und feste Schutz gegen Eindringen von festen Fremdkörpern mit einem Durchmesser > als 1 mm

Betrachtet man die oben aufgeführten IP-Schutzklassen, so stellen deren technische Eigenschaften und Schutzmaßnahmen/-vorrichtungen für den Einsatzzweck nur einen unzureichenden bis keinen Schutz vor den unter 3.7 beschriebenen Einflüssen im Einsatzfall für die sicherheitsrelevanten technischen Bauteile dar. Betrachtet man die Systeme genauer, stellt man fest, dass die angegebenen Schutzklassen häufig nur für das Gehäuse (Chassis) und gewisse Anbauteile gelten.

Ausgenommen von den angegebenen Schutzklassen sind sehr häufig

- Motoren und Motorhalterungen,
- Elektronische Bauteile/Platinen,
- Elektrische Leitungen,
- Verschlussklappen und
- Tragarme.

Diese sensiblen Bauteile stellen aber einen Hauptbestandteil der für einen einwandfreien und sicheren Flugbetrieb notwendigen Bauteile dar.

Um einen ausreichenden Schutz gegen alle unter 3.7 genannten Einflüsse bieten zu können und somit einen maximalen Schutz des Einsatzhilfsmittels UAV im Einsatz darstellen zu können, wäre die IP-Schutzklasse 66 bei UAV je nach Einsatzzweck als Optimum zu erreichen.

IP 66	steht für Wasserdichte; eine Dichtung verhindert das Eindringen von Wasser und ist ebenfalls gegen Staub geschützt
--------------	--

Diese sollte sich auf das Gesamtsystem erstrecken, wie z.B.

- Gekapselte Motoren,
- Witterungsschutz Motorgondeln und Lüftungsschlitze,
- Dichtungen/Dichtungsmanschetten an/in allen Öffnungen des Chassis und
- Geschlossene Tragarme.

3.8 Materialien

Die verbauten Materialien basieren bei den aktuellen Systemen auf Kunststoffen und verschiedenen Verbundmaterialien aus preisgünstigen Produktionsverfahren für die Massenherstellung, wie ASA (Acrylnitril-Styrol-Acrylester), ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer), PS (Polystyrol), u.v.a. oder versch. Epoxidharzen bei der Carbonverbundwerkstoffherstellung. Bei der Verwendung von Systemen mit aus diesen petrochemischen Produkten hergestellten Bauteilen, kann eine verminderte Belastbarkeit der Bauteile auf Grund von

- geringerer Temperaturbeständigkeit,
- mechanischer Belastung (Zug/Dehnung/Vibration) und
- molekularer Zersetzung (UV-Licht)

auftreten.

In diesem Zusammenhang wurde bereits über mögliche Maßnahmen und Verfahren zur Dekontamination unbemannter Luftfahrtgeräte auf Grundlage der Feuerwehr-Dienstvorschrift 500 (FwDV 500) diskutiert. Dabei wurde festgestellt, dass es zur Dekontamination unbemannter Luftfahrtgeräte z.B. nach der Ausbringung aerosoler Agenzien zur Flächendesinfektion keinerlei verfügbare Herstelleran- und -vorgaben gibt. Diese sind aber zwingend notwendig, um geeignete und standardisierte Dekontaminationsverfahren entwickeln zu können und darüber hinaus geeignete Dekontaminationsmittel identifizieren zu können.

Durch das Inkrafttreten der EU-VO 2020/639 und EU-VO 2020/1058 gibt es hinsichtlich der Anforderungen an das Material klare Vorgaben. In der DV 2020/1058 heißt es z.B.

„Es verfügt über die für das UA erforderliche mechanische Festigkeit, einschließlich eines notwendigen Sicherheitsfaktors, sowie gegebenenfalls über die Stabilität, um Belastungen zu widerstehen, denen es während der Nutzung ausgesetzt sein kann, ohne dass es zu Brüchen oder Deformationen kommt, die seinen sicheren Flug beeinträchtigen könnten“

Dieses sollte im Rahmen der Beschaffung bei der Begutachtung der notwendigen Erfordernisse der Materialien bedacht werden.

3.8.1 Dekontamination

Die Kontamination eines UAV im Einsatz bei der Feuerwehr kann auf Grund des Kontaktes mit

- Rauch-/Konvektionspartikeln (Ruß, Asche),
- Stäuben (C-B-R-N belastet),
- Aerosolen (chemische oder biologische Stoffe, z.B. Betriebsstoffe, Emulsionen) und
- Fluiden (Regen, Schnee, Sprüh- und Strahlwasser)

entstehen. Diese Kontamination betrifft dabei vorrangig die Bereiche

- der Rotoren,
- der Motoren/Motorgondeln,
- des Korpus (Oberfläche, offenen Gehäuseteilen, Hinterschneidungen, Anbauteile, usw.),
- der Luftfilter und
- der Elektronik (bei fehlender Filterung oder Abdichtung zum Innenraum).

Bei der Desinfektion/Dekontamination von UAV sollte immer, wie in der FwDV500, der vfdb-Richtlinie 10/04, der vfdb-Richtlinie 10/02 und der BG RCI B001 10/2010 für Ausrüstungen und Einsatzkräfte beschrieben, vorgegangen werden.

Desinfektion:

- chemische
- physikalische

Gerade für die chemische Desinfektion gibt es je nach Schadenslage, Umweltbedingungen (z.B. Temperatur, Luftfeuchtigkeit) Materialverträglichkeit, Wirkungsspektrum und Umweltverträglichkeit, Desinfektionsmittel aus verschiedenen Wirkstoffgruppen. Zur Auswahl stehen dabei Alkohole, Aldehyde, Halogene, Peroxidverbindungen, Phenole oder oberflächenaktive Verbindungen. Desinfektionsmittel werden hinsichtlich ihres Wirkungsbereiches (nach RKI) in vier Bereiche eingeteilt. Informationen zu diesen Bereichen und zur Eignung ausgesuchter Desinfektionsmittel im speziellen Fall sind den in Deutschland gültigen Desinfektionsmittellisten des RKI zu entnehmen. Ergänzend stehen Listen aus dem Bereich der Veterinärmedizin zur Verfügung.

Dekon-Stufen (Allg.):

- Not-Dekon
- Dekon-Stufe I
- Dekon-Stufe II
- Dekon-Stufe III

Die Notdekontamination (Not-Dekon) bzw. erste Grobreinigung kann mit einem feuchten Lappen oder bei einem UAV (mit IP 66) mit einer Sprüheinrichtung (z.B. Kübelspritze/Rückentragespritze) und einer leichten Bürste vorgenommen werden, damit Kontaminationen z.B. nach Bränden entfernt werden können. Ziel ist es, eine Kontaminationsverschleppung in das Fahrzeuginnere oder andere bisher nicht kontaminierte Bereiche zu vermeiden.

Die Dekon-Stufe I umfasst neben der Not-Dekon die Reinigung der gesamten Ausrüstung.

Die Dekon-Stufe II und Dekon-Stufe III nach Einsätzen bei der CBRN-Aufklärung/-Messung stellt sich in diesem Zusammenhang bereits schwieriger dar. Grund ist, dass UAV mit den aktuell in der Dekontamination von Material und Personal zugelassenen Dekontaminationsverfahren und -mitteln nicht oder nur mit Schäden u.a. durch Korrosion oder Zersetzung zu dekontaminieren sind.

Beispiele

a) Peroxyessigsäure

Die Verbindung PES wirkt aufgrund ihrer Hydroperoxid Eigenschaften stark oxidierend und kann somit Schäden an

- Motoren,
- Platinen,
- elektronischen Bauteilen,
- Aufhängungen und
- Tragendeteilen

verursachen. Die in der UAV-Herstellung häufig verwendeten Werkstoffe wie

- Edelstahl oder Teflon für Schrauben und
- Polyethylen und Hart-PVC für Formteile

sind nur bedingt für die Dekontamination geeignet.

Materialien wie

- Messing (Schrauben, Gehäuse, Buchsen),
- Kupfer (Motorwicklungen),
- Gummi (Antennenummantelung, Schrumpfschläuche) und
- Polystyrol (Tiefziehteile)

sind ungeeignet.

b) Aerosoldekontamination mit Desinfektionsmitteln:

Das Aerosol kann auf Grund seiner geringen Tröpfchengröße in das UAV eindringen und wirkt dort vsl. korrodierend und kann somit Schäden an

- Motoren,
- Platinen und
- elektronischen Bauteilen

verursachen.

Die in der UAV-Herstellung häufig verwendeten Bauteile wie

- Platinen,
- SMD-Bauteile und
- IC-Bausteine

sind nur bedingt geeignet bis ungeeignet für die Dekontamination mit Aerosolen.

Derzeit werden erste Verfahren und Systeme zur Dekontamination von UAV vorgestellt. Diese müssen aber noch auf Grundlage der FwDV 500 / vfdb-Richtlinie 10/04 validiert und evaluiert werden.

→ Bei der Dekontamination von UAV ist (wenn vorhanden) auf die Herstelleran- und -vorgaben zu achten

3.9 Auswahl des Systems

Vor einer Beschaffung ist es wichtig, sich einen Überblick über die im eigenen Bereich zu erwartenden und möglichen Einsatzszenarien zu verschaffen. Für diesen ersten Schritt einer möglichen Beschaffung sollten alle in einem vorher festzulegenden Zeitraum absolvierten Einsätze und deren Einsatznachbereitung betrachtet werden. Damit kann vermieden werden, dass für die angedachten Einsatzszenarien technisch ungeeignete oder falsch ausgestattete Systeme beschafft werden. Aber auch die Beschaffung von Systemen für mögliche Einsatzlagen, die im Zuständigkeitsbereich sehr selten bis gar nicht absolviert werden, kann damit ausgeschlossen werden. Damit kann auch vermieden werden, dass ein Einsatzunterstützungsmittel auf Grund fehlender Möglichkeiten nur selten eingesetzt wird und damit einhergehend die Einsatzkräfte ungeübt und unsicher in der Handhabung sind.

Eine Beschaffung, die an die gängigen Einsatzlagen oder Anwendungen angepasst erfolgt, erscheint hier am sinnvollsten und taktisch wertvollsten. Diese Art der UAV-Beschaffung kann in der Beschaffung eines multifunktionalen Systems bis hin zur Beschaffung von mehreren für den jeweiligen Einsatzzweck angepassten Systemen resultieren.

3.9.1 Einsatzszenarien

Einen essenziellen Faktor stellen die Einsatzszenarien dar, da jeder Einsatzzweck seine eigenen Eigenschaften und Risiken innehat. Im Folgenden ist eine Einschätzung von technischen oder physikalischen Risiken für den Einsatz der verschiedenen UAV-Systeme in den möglichen Einsatzszenarien dargestellt.

		UAV-System						
		Mini-UAV	Quadrokopter	Hexakopter	Octokopter	Starrflügler	VTOL-Starrflügler	Helikopter
Einsatzszenario	Öffentlichkeitsarbeit	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Green
	Personensuche	Red	Green	Green	Green	Green	Green	Green
	TH-Lagen allg.	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Green
	Verkehrsunfall (unter TH)	Red	Green	Green	Green	Red	Red	Green
	Lageerkundung Indoor	Green	Green	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Punktlagen allg.	Red	Yellow	Green	Green	Red	Green	Yellow
	Flächenlagen allg.	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green
	CBRN-Einsatz	Red	Yellow	Green	Green	Yellow	Yellow	Yellow
	Deichsicherung	Red	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Green
	Hochwasser (unter TH)	Red	Yellow	Green	Green	Green	Green	Green

geeignet
 bedingt geeignet
 wenig oder ungeeignet

Abbildung 10: Matrix: Einsatzszenario und UAV-System

Diese Einteilung untersagt keine Nutzung, sondern zeigt lediglich auf, ob ein Einsatz dieses UAV in diesem Einsatzszenario aus technischen und systembedingten Gründen als geeignet, bedingt geeignet oder wenig bzw. ungeeignet zu bewerten ist.

Die Bewertungsstufen dienen der Visualisierung, da davon auszugehen ist, dass die technische Ausrüstung des unbemannten Luftfahrzeugs so gestaltet ist, dass durch den unbemannten Flugbetrieb in den aufgeführten Einsatzszenarien keine, geringe oder große Gefährdungen für Beteiligte, Unbeteiligte oder die Beschädigung bis hin zum Verlust des Gerätes zu erwarten sind. Sie stellen eine erste Entscheidungshilfe und keine Ausschließlichkeitsliste dar.

3.9.2 Nutzlast/Anbauteile

Auf Grund der rasant fortschreitenden technischen Entwicklung ist eine definitive Festlegung auf bestimmte Nutzlasten oder Anbauteile nicht möglich. Nachfolgend ein paar Anmerkungen zu den technischen Eigenschaften an die jeweilige Einsatzlage eines angepassten UAV.

		Nutzlast					
		Fotokamera	Videokamera	Wärmebildkamera	Multispectralkamera	Nachtsicht (Farbe)	Gasmessensor
Einsatzszenario	Öffentlichkeitsarbeit	geeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet	wenig oder ungeeignet	wenig oder ungeeignet	wenig oder ungeeignet
	Personensuche	geeignet	geeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet
	TH-Lagen allg.	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	wenig oder ungeeignet	bedingt geeignet	wenig oder ungeeignet
	Verkehrsunfall (unter TH)	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	wenig oder ungeeignet	bedingt geeignet	wenig oder ungeeignet
	Lageerkundung Indoor	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	wenig oder ungeeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet
	Punktlagen allg.	geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet
	Flächenlagen allg.	geeignet	geeignet	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	wenig oder ungeeignet
	CBRN-Einsatz	geeignet	wenig oder ungeeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
	Deichsicherung	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet
	Hochwasser (unter TH)	geeignet	bedingt geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet
	Nacht/Dämmerung allg.	wenig oder ungeeignet	wenig oder ungeeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet	geeignet	wenig oder ungeeignet

Abbildung 11: Matrix: Einsatzszenario und Nutzlast

3.10 Unterstützungs-/Sicherheitseigenschaften (Hard-/Software)

Um den Fernpiloten im Bereich der physischen aber auch psychischen Belastung im Einsatz zu entlasten, sollte das System mindestens folgende Features aufweisen:

- Coming Home
- Lost Link
- Fail Safe
- Kill Switch
- Virtual Cage
- Position Hold
- WayPoint-Software
- Aktiver / Passiver Anschlagschutz
- Collision Avoidance (Kollisionsschutz)
- Beleuchtung

Alternativ könnte noch

- Auto-Start/Auto-Landing

integriert sein.

3.10.1 Coming Home / RTL (Return to Home) / RTH (Return to Launch)

Das System kann im Störfall (niedriger Akkustand oder Verbindungsabbruch zur Fernbedienung) automatisch zum eigentlichen Startplatz oder einem vorher angegebenen Notlandeplatz selbstständig zurückkehren.

3.10.2 Lost Link

Das System verharrt bei Abriss der Funkverbindung an der Position und kehrt automatisch nach 10 Sekunden ohne Funkverbindung zu seinem Start- oder Notlandeplatz zurück.

3.10.3 Fail Safe

Das UAV-System erkennt sofort eine Störung in seinem internen System (Stromversorgung, GNSS, Überhitzung) und reagiert selbstständig mit einer direkten Notlandung (der Fernpilot behält dabei Zugriff auf die Steuerung bzgl. Richtungswechsel, um möglichen Gefährdungen auszuweichen).

3.10.4 Kill Switch

Das UAV-System kann bei direkter Gefährdung Dritter oder zur Verhinderung von Schäden, respektive bei unkontrolliertem Verhalten des UAV, diese sofort ausschalten. Deshalb auch „Kill Switch“, da dieses meistens zur Zerstörung des UAV führt.

3.10.5 Virtual Cage / Geofencing

Möglichkeit des „Einschließens“ des UAV in einen GNSS-Käfig. Aus diesem Käfig heraus oder in diesen hinein kann das UAV nicht fliegen, da die Software dieses verhindert. Dient dazu, Gefahrenbereiche zu sichern oder z.B. bei Veranstaltungen nicht in sensible Bereiche eindringen zu können.

3.10.6 Position Hold

Mit dieser Funktion kann das UAV am Himmel „geparkt“ werden, um z.B. Lagebilder aus der gleichen Perspektive zu senden, ohne dass es zu einer körperlichen Belastung des Fernpiloten durch kontinuierliches Steuern kommt.

3.10.7 Waypoint-Software

Über die vom Hersteller gelieferte Waypoint- oder Flugplanungsoftware lassen sich im Vorfeld oder im Einsatz Flugpfade (Suchraster, POI¹, Grids², u.a.) anlegen und automatisch vom UAV mit vorgegebener Geschwindigkeit und Höhe, sowie Aktionen der Nutzlast programmieren.

3.10.8 Anschlagschutz

Zum Schutz vor Berührung und den dadurch verursachten Schäden an Fremdmaterial oder Personen, sowie vor Beschädigung oder dem Absturz des UAV, ist die Verwendung von aktiven und passiven Schutzvorrichtungen notwendig. Diese sind

- Mechanische Anbauteile, die eine Berührung verhindern (Die praktikable Verwendung ist nur bis zu einem gewissen Grad an Gewicht und Geschwindigkeit möglich).
- Elektronische Anbauteile, die eine Berührung verhindern (Diese werden z.B. durch Ultraschall-Sensoren im Nahbereich bis 2 m oder Multifrequenz-Abstandsradarsensoren für den mittleren Bereich bis 15 m gelöst).

3.10.9 Collision Avoidance (Kollisions-Schutz)

Kollisionen im Luftraum haben eine andere Dynamik, als ein Unfallgeschehen auf dem Boden. Um diese zu verhindern, sind insbesondere Rettungs-, Einsatz- und Polizeihubschrauber auf die Rücksichtnahme durch UAV-Fernpiloten angewiesen. Obwohl das Verhalten in Form von Ausweichregeln festgelegt ist (SERA 3210), kann es im Einsatz geschehen, dass man Entfernungen und Höhe falsch einschätzt.

Durch die Teilnahme am Luftverkehr im Einsatz und der Ausbildung, ist es für UAV der Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben sinnvoll, ein FLARM integriert zu haben. FLARM ist ein in UAV eingesetztes Kollisionswarngerät (engl. Portable Collision Avoidance System).

Es umfasst im Wesentlichen einen GNSS-Empfänger und ein digitales Funkmodul, bestehend aus einem Sender, der u. a. die aktuelle Position des Geräts im Nahbereich (einige Kilometer) anderen FLARMS übermittelt und einem zugehörigen Empfänger, um die Position anderer FLARMS selbst erkennen zu können.

¹ POI = Point Of Interest

² Grid = Gitter z.B. bei Brandwache, Suche nach Glutnestern

Weitere Module, mit denen Positionssignale von Flugzeugen im Nahbereich empfangen werden können, befinden sich im Aufbau.

3.10.10 Lichterführung

Ein weiterer Schutz vor Kollisionen, insbesondere, wenn andere Flugverkehrsteilnehmer kein Empfangsmodul FLARM für den Nahbereich vorweisen, ist u.a. eine entsprechende Lichterführung (Beleuchtung).

Lichterführung gem. DV 2020/639, Punkt 8:

Es muss je ein grünes Blinklicht (oben/unten) mit 5 Candela installiert sein.

Lichterführung gem. SERA.3215:

Die Positionslichter dürfen entweder Dauerlichter oder Blinklichter sein und müssen eine vorgeschriebene Lichtstärke aufweisen. Das rote und grüne Licht muss mindestens 5 Candela und das weiße Hecklicht mindestens 3 Candela stark sein.

Die gesetzlichen Vorschriften zu den Positions- und Zusammenstoß-Warnlichtern findet man u.a. in der DV (EU) Nr. 923/2012.

Hinweis: Beide Systeme dienen zur optischen Sichtbarmachung des UAV.

Als Beispiel sieht die SERA.3215 wie folgt aus:

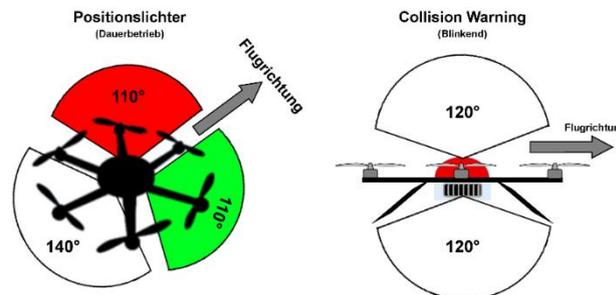


Abbildung 12: Lichterführung gem. SERA.3215

Diese Beleuchtungsform ergibt sich aus

- SERA-Anhang Luftverkehrsregeln, Abschnitt 3, Kapitel 2, SERA.3215 und
- NfL 1-1197-17: Regelt die bei der Durchführung von Flügen mit Flugmodellen und unbemannten Luftfahrtsystemen in Kontrollzonen von Flugplätzen zu führende Lichter.

Zusätzlich kann die

- DIN 14502-3 Feuerwehrfahrzeuge – Teil 3: Farbgebung und besondere Kennzeichen (zur Farbgebung der unbemannten Luftfahrtgeräte) herangezogen werden.

→ Die werkseitig verbaute Beleuchtung ist in vielen Fällen unzureichend oder entspricht nicht den Vorgaben gem. SERA.3215 und DV 2020/639.

3.10.11 Auto-Start/Auto-Landing

Mit dieser Funktion kann das UAV selbstständig den Start oder die Landung durchführen. Dieses sollte aber nicht ohne Sichtkontakt und direkte Eingriffsmöglichkeit durch den Fernpiloten erfolgen. Ebenfalls bei unklarer Lage der Sicherheit (Luft/Boden) am Start-/Landeplatz ist diese Funktion nicht anzuwenden.

4 Datensicherheit

Im Einsatz gelten weiterhin die Vorgaben der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO). Bei der Nutzung von UAV durch BOS finden besondere Regelungen der DSGVO ihre Anwendung.

Technische Anforderungen auf Grundlage von

- Art. 25 DSGVO
- Art. 32 DSGVO,

sowie der Erwägungsgründe gemäß Art. 6 DSGVO.

Die Datensicherheit kann mit einer bidirektionalen Verschlüsselung von mindestens 256bit-AES oder höher von

- Internen/externen Datenträgern
- Bildübertragungssignalen
- Telemetriedaten
- Steuerungssignalen

erfüllt werden.

5 Bildnachweise

Abbildung 1: Schaubild „Bewegung im Raum“	3
Abbildung 2: Krafteinwirkung von Wind im dreidimensionalen Raum	4
Abbildung 3: Krafteinwirkung von Wind	4
Abbildung 4: Benötigte Kraft gegen Abdrift im Verhältnis Masse/Schub	5
Abbildung 5: Windkarten des DWD	5
Abbildung 6: UAV-Klassen hinsichtlich Abfluggewicht und Flughöhe gemäß LuftVG (theoretische Absturz-Energie größer 80 J)	6
Abbildung 7: UAV und PSA (Persönliche Schutzausrüstung)	7
Abbildung 8: Schematische Darstellung UAV-Klassen	8
Abbildung 10: Symboldarstellung Flugzeit und Motorauslastung (Quadrokopter/Hexakopter)	11
Abbildung 11: Matrix: Einsatzszenario und UAV-System	18
Abbildung 12: Matrix: Einsatzszenario und Nutzlast	19
Abbildung 13: Lichterführung gem. SERA.3215	22

6 Glossar

ABS:	Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer
ADR:	Accord européen relatif au transport international des marchandises dangereuses par route (Europäisches Übereinkommen über die internationale Beförderung gefährlicher Güter auf der Straße)
ADS-B:	Automatic Dependent Surveillance – Broadcast
ASA:	Acrylnitril-Styrol-Acrylester
CBRN:	Chemisch, Biologisch, Radiologisch, Nuklear
DFS:	Deutsche Flugsicherung
DSGVO:	Datenschutz-Grundverordnung
DWD:	Deutscher Wetterdienst
FLARM:	Kollisionswarngerät (engl. Portable Collision Avoidance System)
GGVS:	Gefahrgutverordnung Straße
GNSS:	Global Navigation Satellite System
Grid:	Gitter
HOD:	Hook-on-Device
IC:	Integrated circuit
LiPo:	Lithium-Polymer-Akkumulatoren
LuftVG:	Luftverkehrsgesetz
LuftVO:	Luftverkehrs-Ordnung
PES:	Peressigsäure
POI:	Point Of Interest
PS:	Polystyrol
PSA:	Persönliche Schutzausrüstung
PVC:	Polyvinylchlorid
RKI:	Robert-Koch-Institut
RTH:	Return to Launch
RTL:	Return to Home
SMD:	Surface-mounted device
TH:	Technische Hilfe
UAV:	Unmanned aerial vehicle

7 Hinweise

Das diesem Merkblatt zugrundeliegende Forschungsvorhaben „Aufbau des Deutschen Rettungsrobotik-Zentrums (A-DRZ)“ wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung im Sicherheitsforschungsprogramm der Bundesregierung unter den Förderkennzeichen 13N14852 bis 13N14863 gefördert.