Bundesministerium
für Verkehr und
digitale Infrastruktur

Umgang mit Drohnen im deutschen Luftraum:

Verkehrspolitische Herausforderungen im Spannungsfeld von Innovation, Safety, Security und Privacy

Wissenschaftlicher Beirat beim Bundesminister
für Verkehr und digitale Infrastruktur

Nr. 1/Jahr 2019

Umgang mit Drohnen im deutschen Luftraum:

Verkehrspolitische Herausforderungen im Spannungsfeld von Innovation, Safety, Security und Privacy

Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats
beim Bundesminister für Verkehr und digitale Infrastruktur

Erschienen in: Internationales Verkehrswesen (IV) 02/2019

Datum 11.04.2019

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung und Intention dieser Stellungnahme 5

2 Kategorisierung und Einsatzszenarien von Drohnen 9

2.1 Kategorisierung, Betriebskategorien und Drohnenklassen 9

2.1.1 Kategorie open 9

2.1.2 Kategorie specific 13

2.1.3 Kategorie certified 14

2.1.4 Zusammenfassung 15

2.2 Einsatzszenarien 15

3 Regulatorische Herausforderungen und Perspektiven 20

3.1 Handlungsbedarfe im Kontext der bisherigen Regulierung 20

3.2 Herausforderungen für die Regulierung von Drohnen 22

3.3 Konsequenzen für die Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens 25

4 Planungssicherheit durch spezifisches Drohnen-Luftraummanagement 28

4.1 Drohnenkategorisierung 28

4.2 Berücksichtigung von Wetter 31

4.3 Technologien und Institutionen für das Drohnenverkehrsmanagement 32

4.3.1 Operationsbereiche 32

4.3.2 Genauigkeit in der Kursführung 33

4.4 Handlungsbedarf 34

5 Sicherheit, Sicherheitsakzeptanz und Persönlichkeitsrechte 36

5.1 Sicherheitsbewertung SORA 36

5.2 Privacy und Security 38

5.3 Sicherheitsrisiken für Menschen am Boden 41
6 Chancen und Risiken für Drohnen im Personenverkehr 42
7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen 46
Abkürzungsverzeichnis 51
Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats 53

1 Einführung und Intention dieser Stellungnahme

Drohnen zählen formal nach Luftverkehrsgesetz (LuftVG) § 1 Abs. 1 zu Luftfahrzeugen und sind „unbemannte Luftfahrzeuge mit fernsteuernden Piloten“ (RPAS, Remotely Piloted Aircraft Systems) bzw. „Fluggeräte mit automatisierten Steuerungs- und Navigationsfunktionen ohne Piloten“ (UAV, Unmanned Aerial Vehicle). In dieser Stellungnahme wird der Begriff ‚Drohne‘ stellvertretend durchgängig genutzt. Unbemannt bezieht sich hierbei also auf die Flugführungsfunktionen und schließt damit Personentransport mittels Drohnen ein. Drohnen erleben aktuell im Zuge der Digitalisierungsrevolution in der Gesellschaft und der damit verbundenen Möglichkeiten der kostengünstigen und stetig leistungsfähiger werdenden Datenerfassungs- und
-übertragungsfähigkeiten ein explosives Wachstum und damit auch der Luftverkehr. Räumlich konzentrieren sich diese Anwendungen bisher auf geringe Flughöhen (< 150 m, sog. VLL, Very Low Level Airspace) und Aktionsradien (< 20 km) der einzelnen Drohnen. Grund hierfür ist die für RPAS angewandte Überwachungstechnik im VHF/UHF Frequenzband und die bisher noch überwiegende Beschränkung auf Betrieb im Sichtbereich des Remote Pilot (VLOS, visual line-of-sight). Der VLL-Luftraum ist – außerhalb von Flugplätzen – in Deutschland unkontrolliert (Luftraumklasse G) und damit weitestgehend selbstorganisierend, ohne Flugverkehrskontrolle gemäß Sichtflugregeln (VFR, Visual Flight Rules) bewirtschaftet.

Nach Prognosen des SESAR Drone Outlook[1] (Single European Sky Air Traffic Management Research) werden bis 2050 für Europa ca. 7 Mio. Drohnen im Spielebereich (Toys) und weitere 400.000 im kommerziellen Bereich erwartet, unter anderem

- ca. 100.000 in der Landwirtschaft (Agriculture) zur Optimierung der Prozessüberwachung in der Bestellung von Feldern und damit Produktivitätssteigerung,
- ca. 10.000 im Energiesektor (Energy) zur risikomindernden Durchführung gefährlicher Überwachungs- und Wartungsaufgaben an komplexen technischen Systemen,

[1] Siehe https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/European_Drones_Outlook_Study_2016.pdf

- ca. 100.000 in der Logistik (Urgent Services) zur Bereitstellung von lebenswichtigen Lieferungen sowie als Premium Lieferdienst hochwertigster Wirtschaftsgüter,
- ca. 50.000 für Polizei und Feuerwehraufgaben (Civil Protection).

Damit würde sich die Dichte an Luftfahrzeugen im Luftraum deutlich erhöhen, allein in der kommerziellen Nutzung um mehr als das 10fache gegenüber den heute vorhandenen ca. 20.000 konventionell gesteuerten, zertifizierten Luftfahrzeugen (Geschäftsluftfahrt und Helikopter). Diese konventionellen Luftfahrzeuge werden sich im gleichen Zeitraum gemäß SESAR ATM Masterplan Prognose auf - dagegen bescheiden anmutende - ca. 45.000 weltweit erhöhen[2]. Treiber sind die vielfältigen, sich gerade entwickelnden neuen Geschäftsmodelle mit Hilfe von Drohnen, die nach Schätzung von PWC und Goldman Sachs allein bis zum Jahr 2020 über 100 Milliarden Dollar jährlichen Umsatz weltweit erreichen können[3] [4]. Blyenburgh erwartete ähnlich progressive Entwicklungen mit einer Verdreifachung der Anzahl an Transporten mittels Drohnen allein bis zum Ende des Jahres 2018[5]. Diese Schätzungen geben eine Vorstellung des Potenzials; die tatsächliche Ausbreitung von Drohnen wird aber auch sehr stark vom regulatorischen Umfeld abhängen.

Darüber hinaus ist davon auszugehen, dass zahlreiche neue Drohnenarten in naher Zukunft zum Einsatz kommen, die in deutlich größere Flughöhen bis in den kontrollierten Luftraum (> 2.500 ft bzw. gut 750 m über dem Boden) aufsteigen werden können, um visionär z. B. als Lufttaxi hindernisfrei größere Distanzen stau-/umwegfrei überwinden zu können. Langfristig werden zudem auch zunehmend größere Drohnen sowohl in Form heutiger kommerzieller Flächen- und Rotorfluggeräte im Frachtbereich und später auch im Personentransport erwartet. SESAR erwartet einen Anteil von 20 % ferngesteuertem / autonomem Flugverkehr im o.g. kontrollierten Luftraum bis 2050[6].

Den vielfältigen Chancen und Dynamiken der derzeitigen Entwicklung von Drohnen stehen verschiedene mögliche unerwünschte Auswirkungen gegenüber (negative Externalitäten). Zu nennen sind hierbei Unfälle mit Personen- oder Sachschäden am Boden, an Gebäuden oder anderen festen Objekten; Unfälle in der Luft mit Luftfahrzeugen, Seilbahnen oder anderen Drohnen; kriminelle oder terroristische Bedrohungen durch mit Schussanlagen, Explosivkörpern oder Chemikalien ausgestat-

[2] (Un)certain skies? Drones in the world of tomorrow – © OECD/ITF 2018, https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/uncertain-skies-drones_0.pdf
[3] PwC (2016), Clarity from above: PwC global report on the commercial applications of drone technology, PricewaterhouseCoopers, Warsaw.
[4] Goldman Sachs (2016), "Drones: Reporting for Work", www.goldmansachs.com/our-thinking/technologydriving-innovation/drones/ .
[5] Blyenburgh (2018), Drone Operations: Today & Tomorrow, Blyenburgh & Co, Paris
[6] PwC (2016), Clarity from above: PwC global report on the commercial applications of drone technology, PricewaterhouseCoopers, Warsaw.

tete Geräte; Verletzungen der Privatsphäre durch Bild- oder Tonaufnahmen oder durch die unrechtmäßige Einbringung von Sensoren in die Privatsphäre anderer Personen; zum Diebstahl von Objekten eingesetzte Drohnen; Lärmbelästigungen; Belästigung des optischen oder akustischen Umfeldes von Menschen (auch wenn noch unterhalb vorgegebener Lärmschwellen); Beunruhigung oder Verängstigung von Menschen in Hinblick auf die zuvor genannten Gefahren oder infolge natürlicher Reflexe; Störung des natürlichen Lebensraums von Tieren. Diese Problemfelder werden auf nationaler, europäischer und internationaler Ebene seit geraumer Zeit diskutiert und führen derzeit zu ersten grundlegenden, aber noch nicht umfassenden regulatorischen Schritten. Nationale Regulierungen weisen bisher eine große Bandbreite der administrativen, operationellen und luftraumbezogenen Regeln auf, die auch abhängig von der Drohnenkategorie erheblich variieren (OECD/ITF 2018 pp15 ff).

Lösungen für den Umgang mit der sehr dynamischen Entwicklung im bisher überwiegend genutzten VLL-Bereich müssen damit offensichtlich über präzisiere Regulierung in einem zukünftig deutlich höher frequentierten Luftraum gefunden werden. Andererseits sollten Möglichkeiten zur grundsätzlichen Erweiterung des Operationsraums geschaffen werden, um die vielfältigen neuen Geschäftsmodelle mit einem Betrieb jenseits des Sichthorizontes (BVLOS, Beyond Visual Line of Sight) zu ermöglichen. Deutschland als Innovationsstandort für Drohnenkonzepte braucht Rahmenbedingungen, die neue Geschäftsmodelle und Transporttechnologien erlauben und gleichzeitig hohen Ansprüchen bzgl. Safety, Security, Privacy, Kapazität und Effizienz bei der Integration in den Luftraum genügen.

Da diese Rahmenbedingungen im Wechselspiel nationaler und internationaler Gremien festgesetzt werden, ist nationales Engagement für deren Ausgestaltung im eigenen Interesse zwingend notwendig. Die EU-Kommission, der Ministerrat und das EU-Parlament haben sich im Juni 2018 auf einheitliche Regeln für die Markierung und den Betrieb aller zivilen Drohnen geeinigt, somit insbesondere auch jener, die leichter als 150 kg sind. Diese Regeln werden zeitnah in Kraft treten und die Mitgliedsstaaten müssen dafür sorgen, dass betroffene unbemannte Fluggeräte vom Hersteller aus dezidierten Anforderungen entsprechen. Innerhalb der EU sollen dann Drohnen, die für Personen, die Privatsphäre Dritter oder die Luftfahrt gefährlich werden können, zur individuellen Identifikation markiert werden. Außerdem müssen Drohnenhersteller künftig (bislang noch nicht vollständig festgelegte) Regeln beim Bau speziell von schweren Drohnen befolgen — darunter werden Vorgaben für Flughöhenbegrenzungen, Reichweiten, Datenschutz und die Fähigkeiten für automatische Notlandungen fallen. Die neuen Richtlinien müssen jetzt in den Details von der Kommission ausgearbeitet werden. In diesen Prozess hinein formuliert die folgende Stellungnahme Empfehlungen im Sinne von nationalem Engagement bei deren Ausgestaltung mit dem Ziel, durch Standardisierung auch Innovation

durch klar erfassbare Randbedingungen so wenig wie möglich zu hemmen.

Die vorliegende Stellungnahme beschäftigt sich demnach mit den Herausforderungen und Chancen, die das Drohnenwachstum im Mobilitätssektor induziert. Sie schließt mit Handlungsempfehlungen an den Bundesminister, die darauf hinauslaufen, durch eine Bündelung von Maßnahmen die im Kontext der neuen EU Grundverordnung aus dem Jahr 2018 laufenden Regulierungs- und Standardisierungsprozesse zielgerichtet zu begleiten. Nur so können den zahlreichen speziell auch in Deutschland anlaufenden Entwicklungs- und Verfahrensprozessen passfähige Rahmenbedingungen für eine spätere Zertifizierung an die Hand gegeben werden. Konkret sei hier auf Drohnen-Testzentren als Bestandteil von Smart Cities verwiesen, deren Zahl seit 2018 auch in Deutschland anwächst, befeuert durch die Urban Air Mobility (UAM) Initiative[7] der EU. Diese verspricht den antragstellenden Städten und Gemeinden relevante Förderungen bei der Erprobung von 3D-Mobilität in Ballungszentren. Aktuell sind 26 Städte Mitglied der UAM-Initiative, z. B. Hamburg, Dresden, Leipzig, München, Ingolstadt. Die Empfehlungen dieser Stellungnahme sollen ein strukturiertes Vorgehen in diesen Projekten entlang des hieran anschließenden Zertifizierungs- und Zulassungsprozesses unterstützen.

[7] EIP-SCC - European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities, https://eu-smartcities.eu

2 Kategorisierung und Einsatzszenarien von Drohnen

2.1 Kategorisierung, Betriebskategorien und Drohnenklassen

Zulassungsvorschriften galten gemäß nun ausgelaufener EU Grundverordnung 216/2008 (Basic Regulation) bislang nur für Drohnen mit einer maximalen Startmasse über 150 kg. Leichte Drohnen fielen somit unter die heterogenen Vorschriften auf nationaler Ebene. Um eine Harmonisierung in Europa zu erreichen, stand eine Neuregulierung der EU Grundverordnung für alle Gewichtskategorien bevor, die als EU VO 2018/1139 vom 4. Juli 2018 von Rat und Parlament verabschiedet wurde und am 11.September 2018 in Kraft trat[8]. Um die unterschiedlichen Risikopotentiale zu adressieren, die aus den sehr spezifischen Einsatzarten hervorgehen, werden Drohnen gemäß Europäischer Flugsicherheitsagentur EASA seit 2008 in die drei Kategorien open, specific und certified wie folgt gegliedert.

2.1.1 Kategorie open

Die EASA-Kategorie open fokussiert auf leichte Drohnen, bei denen das Risiko gegenüber Dritten am Boden oder in der Luft als vergleichsweise gering eingestuft wird. Der Einsatz in dieser Kategorie soll nicht der Genehmigung der Luftfahrtbehörden unterliegen. Hierunter fallen auch die Einsätze zu freizeitlichen oder sportlichen Zwecken. Als weiterer Grundsatz gilt, dass ein Pilot jeweils nur eine Drohne zeitgleich und nur innerhalb des Sichthorizonts (VLOS) steuern darf.

Betriebskategorien und Drohnen-Klassen

Um Sicherheit im Sinne von Safety zu gewährleisten, wird in erster Linie in Betriebskategorien und Drohnen-Klassen unterteilt. Die drei Betriebskategorien A1 bis A3 legen fest, in welcher Entfernung der Betrieb von Drohnen zu Menschen am Boden stattfinden darf und werden durch Beschränkungen der erlaubten Flughöhe ergänzt. Über die fünf open Drohnen-Klassen (Unterkategorien) C0 bis C4 wird geregelt, welche Drohnen in den jeweiligen Betriebskategorien operieren dürfen (siehe auch Abbildung 1). Mit einer sechsten Drohnen-Klasse werden zusätzlich Fluggeräte des privaten Eigenbaus (Flugmodelle) berücksichtigt, wie sie häufig in den Mo-

[8] Siehe https://www.easa.europa.eu/document-library/regulations/regulation-eu-20181139 bzw. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32018R1139

dellsportvereinen vorkommen. Die Klassifizierung richtet sich dabei nach der maximalen Startmasse (Maximum Take Off Mass, MTOM) bzw. der kinetischen Energie der Drohne als Maß für das Gefährdungspotential gegenüber Menschen am Boden.

Kinetische Energie als Klassifizierungsgrundlage

Im Zusammenhang mit der kinetischen Energie kann bestimmt werden, ob der Zusammenprall einer Drohne mit einem Menschen tödliche Folgen hat. Dieses Thema war in den letzten Jahren Gegenstand zahlreicher Studien. Zum Beispiel untersuchten Dalamagkidis et al. (2008) sowie Skobir und Magister (2011) die kinetische Energie von Drohnen mit Bezugnahme auf deren Fluggeschwindigkeiten. Die Studien der Monash University (2013) und von Arterburn et al. (2017) vertiefen die Untersuchungen mittels Hinzunahme von verschiedenen Verletzungsmodellen bezogen auf die getroffene Körperregion und der Berücksichtigung des unterschiedlichen Verletzungsausmaßes durch verschiedene Komponenten der Drohne. Shelley (2016) berechnet zudem die sogenannten sozialen Kosten, die Unfälle von Drohnen mit Menschen nach sich ziehen können. Zur Bestimmung eines Grenzwertes der kinetischen Energie, ab dem ein Zusammenstoß als tödlich angenommen wird, bezieht sich die EASA auf das sogenannte Gurdjian Experiment aus dem Jahre 1949. Den Versuchen lässt sich entnehmen, dass der menschliche Schädel beim Zusammenstoß mit stumpfen Gegenständen die Fähigkeit besitzt, Energien von bis zu 80 J zu absorbieren, ohne dabei eine Fraktur zur erleiden. Ferner geht die EASA beim Absturz eines Multicopters davon aus, dass im Mittel nur 46,5 % der tatsächlich auftretenden kinetischen Energie auf den Kopf eines Menschen wirken. Dieser Durchschnittswert ergibt zwei Szenarien, die unterschiedliche Trefferarten analysieren. In Verbindung mit dem zuvor genannten Grenzwert von 80 J ergibt sich eine akzeptierte tatsächlich auftretende kinetische Energie von 172 J.

Diese Annahmen sind besonders deshalb relevant, weil dadurch die maximale Gewichtsbegrenzung der Drohnen-Klasse C1 festgelegt ist, welche in der Betriebskategorie A1 erlaubt ist. In dieser Kategorie ist der Betrieb von Drohnen über Menschen, jedoch nicht über Menschenansammlungen, zulässig. Die EASA geht von einem linearen Zusammenhang von 48 J kinetischer Energie pro 250 g Startmasse aus. Daraus ergibt sich als Obergrenze für die Drohnen-Klasse C1 eine maximale Startmasse (MTOM) von 900 g. Aufgrund der hohen Relevanz dieser Gewichtsbegrenzung, gegeben durch den erlaubten Betrieb über Menschen, ist die hier festgelegte Korrelation zwischen MTOM und kinetischer Energie im Falle eines Zusammenstoßes einer Drohne mit einem Menschen in jedem Falle überprüfenswert und das vorliegenden Klassenmodell zu verifizieren.

Maximale Startmasse als Klassifizierungsgrundlage

Die Gewichtsbeschränkungen der in A2 und A3 erlaubten Drohnenklassen werden durch die vorliegenden EASA-Dokumente nicht näher begründet. Deshalb ist davon auszugehen, dass die MTOM-Grenzen historisch gewachsen bzw. durch Marktanalysen entstanden sind. So erlaubt die in Betriebskategorie A2 genehmigte Klasse C2 Drohnen mit einer Startmasse bis zu 4 kg. Einer EASA-Studie nach umfasst dieses Segment 92 % der derzeitig auf dem europäischen Markt betriebenen Drohnen. Diese sind zumeist mit Navigations- sowie Automatisierungssystemen ausgestattet, können Nutzlast tragen und stellen ein erhöhtes Risiko für Dritte dar. Die maximale Startmasse der Drohnenklassen C3 und C4, die nur in weiterer Entfernung von Menschen geflogen werden dürfen (Betriebskategorie A3), beträgt 25 kg. Damit entspricht die MTOM dieser Klasse der aktuell vorherrschenden Gewichtsbegrenzung für Drohnen auf den nationalen Ebenen der EASA-Mitgliedstaaten. Mit der Betriebskategorie A3 wird nicht nur dem kommerziellen Betrieb mit hochwertigen Kamerasystemen Rechnung getragen, sondern auch der Vielzahl an Flugmodellen, die traditionell in den Modellsportvereinen geflogen werden. Es wird offensichtlich, dass höhere MTOMs der Drohnen ein größeres betriebliches Risiko nach sich ziehen. Grund dafür ist die oben beschriebene positive Korrelation der maximalen Startmasse und der kinetischen Energie, die bei einem Zusammenstoß mit Menschen wirkt. Um das Risiko für Dritte am Boden zu reduzieren, wird in Betriebskategorien unterteilt, die entsprechend der MTOM einen Flug über, mit festgelegtem Sicherheitsabstand zu oder in subjektiv angemessener Entfernung von Menschen erlauben. Um weiterhin das Risiko für Dritte in der Luft zu reduzieren, gilt eine maximal erlaubte Flughöhe von 120 m über Grund (AGL) für Drohnen, welche damit 30 m unter der Mindestflughöhe für den bemannten Luftverkehr nach Sichtflugregeln (VFR) mit 150 m AGL nach LuftVO liegt. In der gesamten EASA-Kategorie open sind außerdem nur Flüge innerhalb des Sichtbereichs (VLOS) zulässig. Folgende Abbildung 1 stellt die Zusammenhänge zwischen den Betriebskategorien und Drohnenklassen (UAS) noch einmal anschaulich dar, die weiter unten vertieft werden.

Betriebs-kategorie	UAS Klasse	MTOM/ Joule	Entfernung zu unbeteiligten Menschen	max. Flughöhe	Piloten-kompetenz	Mindest-alter	technische Anforderungen	Regist-rierung	e-ID/ Geofencing
A1	Eigen-bau	< 0,25 kg	Flüge über unbeteiligten Menschen erlaubt (keine Menschenansammlungen)	< 50 m	Broschüre	nein	nein	nein	nein
	C0						Spielzeug-Richtlinie 2009/48/EG, keine scharfen Kanten		
	C1	< 0,9 kg oder 80 J		< 120 m	Broschüre und Online-schulung mit Test	14 Jahre oder mit Aufsichts-person	mechanische Festigkeit, keine scharfen Kanten, einstellbare Flughöhen-begrenzung	Betreiber	e-ID bei Kamera > 5 MP oder bei Audiosensor; e-ID und GF, wenn durch Betriebsbereich vorausgesetzt
A2	C2	< 4 kg	Flüge mit Sicherheitsabstand erlaubt (Drehflügler-UAS > 20 m, Flächenflieger-UAS > 50 m)	< 120 m	Broschüre und Zertifikat über Kompetenz plus Prüfung bei anerkannter Stelle	16 Jahre oder mit Aufsichts-person	mechanische Festigkeit, Loss of Link Management, einstellbare Flughöhen-begrenzung	Betreiber und UAS	ja
A3	C3	< 25 kg	Flüge in Bereichen, wo keine unbeteiligten Menschen zu erwarten sind	< 120 m	Broschüre und Online-schulung mit Test	16 Jahre oder mit Aufsichts-person	Loss of Link Management, einstellbare Flughöhen-begrenzung	Betreiber und UAS	Ja, wenn durch Betriebsbereich vorausgesetzt
	C4		Zusätzlich zu C3 nur Flüge außerhalb von Ortschaften, Siedlungen und Flughafenbereichen				Betriebsanleitung		
	Eigen-bau						nein		

Abbildung 1 Betriebskategorien und Drohnen-Klassen für die EASA Kategorie Open [EASA (A) NPA 2017]

In Ergänzung zu diesen Vorgaben existieren weitere Anforderungen an die Pilotenkompetenz sowie die technische Ausstattung für Drohnen der Kategorie open:

- Pilotenkompetenz: Die Remote Pilots (RP) müssen geschult werden. Je höher das Gefährdungspotenzial (Masse, Geschwindigkeit), desto umfänglicher muss die Ausbildung des RP erfolgen, nachzuweisen in Online-Tests oder Prüfungen in anerkannten Stellen. Die Gestaltung dieser Kompetenzprüfungen ist direkt an das Klassierungsschema der Drohnen gekoppelt, sollte also ebenfalls verifiziert und ggf. weiter spezifiziert werden.
- Produktauflagen: EASA sieht keine Zertifizierung in der Kategorie open vor, allerdings wird auf existierende Produktregelungen gemäß EU VO 765/2008 verwiesen. Hiernach sind Drohnen durch akkreditierte Stellen (z. B. TÜV) zu prüfen. Welche Anforderungen für ein Produkt Berücksichtigung finden müssen, kann der Hersteller den harmonisierten Normen der EU entnehmen. Wird eine Übereinstimmung mit diesen festgestellt, erhält das Produkt das CE-Kennzeichen. Im Falle von Drohnen erhält das Produkt eine zusätzliche Kennzeichnung der jeweiligen Drohnenklasse, deren Anforderungen es erfüllt. Da allerdings bisher nur wenige Normen auf Drohnen anwendbar sind, werden durch die EASA klassenspezifische Anforderungen gestellt. Bezüglich Safety sind hierbei vor allem das „Loss of Link Management“ und die mechanische Festigkeit hervorzuheben. Ein Beispiel für ein bereits in einigen Drohnen-Anwendungen zu findendes Loss of Link Management ist die sogenannte Return-to-Home-Funktion. Diese Failsafe-Funktionalität sorgt beim Verlust des Datenlinks dafür, dass die Drohne eine Mis-

sion nicht unkontrolliert fortsetzt, sondern autonom zu einem vorprogrammierten Ort zurückkehrt und dort landet. Diese Funktion kann ebenfalls bei zu niedrigem Ladezustand des Akkumulators greifen.

- Antriebsart: Den Produktanforderungen ist weiterhin zu entnehmen, dass alle Drohnen der Klassen C0, C1, C2 und C3 elektrisch angetrieben sein müssen. Nur die Klasse C4 und private Eigenbauten erlauben die Verwendung von anderen Antrieben wie etwa Verbrennungsmotoren.
- Geofencing: Geofencing bezeichnet eine Funktion, die das Einfliegen der Drohnen in einen zuvor definierten (Schutz-)Bereich wie z. B. einen großen Flughafen nach §21b LuftVO oder ein Stadtgebiet nicht zulässt. Zu unterscheiden ist dabei in Verbotszonen (No-Drone-Zone) und Beschränkungszonen (Limited-Drone-Zone). In ersteren ist der Betrieb von Drohnen grundsätzlich verboten, in letzteren nur für bestimmte Drohnenklassen zulässig. Daraus ergibt sich, dass EASA-Mitgliedstaaten in einem ersten Schritt Verbots- und Beschränkungsgebiete im eigenen Luftraum bestimmen und über webbasierte Plattformen oder Apps kenntlich machen sollen. Um Drohnen automatisch am Eindringen in diese Gebiete einschließlich Flughöhenbegrenzung zu hindern, müssen einheitliche Standards, Kartensysteme und Datenbanken geschaffen werden, damit Hersteller die Geofences in den Flight Controllern der Drohnen implementieren können. Mit der Schaffung dieser Standards wurde die European Organization for Civil Aviation Equipment (EUROCAE) beauftragt.
- Elektronisches Identifizierungssystem (e-ID): Um die Nachvollziehbarkeit von Verstößen zu ermöglichen, wird ein elektronisches Identifikationssystem (e-ID) als weitere Produktanforderung an Drohnen der Kategorie open gestellt. Damit ist die Fähigkeit gemeint, eine im Flug befindliche Drohne ohne physischen Zugriff identifizieren (i. w. Betreiber, Drohnenklasse, Position und Höhe) zu können. Eine Datengrundlage für die e-ID stellt die avisierte Registrierungspflicht von Betreibern und Drohnen mit einer Startmasse ab 250 g dar. Das elektronische Identifizierungssystem kann dann bei der strafrechtlichen Verfolgung von vorsätzlichem Missbrauch von Drohnen unterstützen.

2.1.2 Kategorie specific

Unter die EASA-Kategorie specific fällt der Betrieb von Drohnen, welcher nicht den zuvor erläuterten Bestimmungen der Kategorie open genügt und somit ein vergleichsweise höheres Risiko darstellt. Das betrifft zum Beispiel den Betrieb von Drohnen außerhalb der Sichtweite des Piloten (BVLOS), über Menschenansammlungen mit Drohnen, deren Eigenschaften nicht Klasse C1 entsprechen oder in Flughöhen über 120 m über Grund (AGL). Dadurch ist eine von der zuständigen Luftfahrtbehörde ausgestellte Genehmigung erforderlich, welche angepasste Betriebsgrenzen entsprechend dem missionsspezifischen Risiko enthält. Dieses ist gemäß Specific Operation Risk Assessment (SORA) zu ermitteln (siehe dazu ausführlich Abschnitt 5.1). Kann das missionsspezifische Risiko durch entsprechende Risikominde-

rungsmaßnahmen des Betreibers auf ein akzeptables Risiko reduziert werden, wird eine Betriebsgenehmigung erteilt. An dieser Stelle sei jedoch bereits erwähnt, dass SORA lediglich Safety-Risiken adressiert. Die Aspekte Security und Privacy sind in SORA bisher nicht adressiert, ein Manko, das mittels geeigneter Erweiterung der Gefahrenanalyse geschlossen werden sollte. In erster Linie gilt mit e-ID die gleiche Nachvollziehbarkeit für Verstöße wie in der EASA Kategorie open. Weiterhin ist zu erwarten, dass die Mehrheit des Betriebs in der Kategorie specific kommerzieller Natur ist (Gebühren für eine Betriebsgenehmigung liegen deutlich über 200,- €). Durch die damit einhergehende Professionalität und Kompetenz der Betreiber ist das Risiko eines vorsätzlichen Missbrauches mit Drohnen wohl eher gering, aber dennoch nicht auszuschließen. Der verbleibende freizeitliche Betrieb ist vorrangig durch die Modellsportverbände zu begründen. Auf den Vereinsgeländen wird allerdings auch in Flughöhen über 120 m AGL geflogen, auch werden Flugmodelle mit einer MTOM über 25 kg verwendet, so dass die Verbände ebenfalls Betriebsgenehmigungen einholen müssen. Da der Betrieb jedoch auf das jeweilige Vereinsgelände beschränkt ist, kann hier ebenfalls von einem eher unerheblichen Risiko bezüglich Security oder Privacy ausgegangen werden. Eine zusätzliche Reduzierung des Privacy-Risikos kann durch Prüfung der Eignung der Organisation des Betreibers für spezifische Missionen erreicht werden. Diese Gefahrenaspekte sind unbenommen ihrer ggf. begrenzten Ausprägung in SORA aufzunehmen.

2.1.3 Kategorie certified

Der Betrieb in der EASA-Kategorie certified, die eine Startmasse (MTOM) von > 150 kg aufweisen, unterliegt ähnlichen Regularien wie sie bereits aus der bemannten Luftfahrt bekannt sind. Hier wird nicht nur eine spezifische Mission genehmigt. Es erfolgt vielmehr eine (kostenintensive) Zulassung der Drohne, wodurch sie dann (aber auch) für eine Vielzahl von Missionen eingesetzt werden kann. Die Lufttüchtigkeit der Drohne wird über die Konformität zukünftig mittels EASA Richtlinien (Certification Specification, CS) geprüft. Zum derzeitigen Zeitpunkt hat die EASA keine CS für Drohnen veröffentlicht[9]. Für eine luftfahrttechnische Zulassung muss ein Entwicklungsbetrieb demzufolge das Verfahren nach EASA Policy Statement E-Y013-01 oder die von JARUS veröffentlichten CS Light Unmanned Rotorcraft Systems (CS-LURS) für Drehflügler bzw. Light Unmanned Aeroplane Systems (CS-LUAS) für Flugzeuge mit einer MTOM von 750 kg anwenden. Die Formulierung eines CS für Drohnen ist zeitnah geboten, um Klarheit über den Zulassungsaufwand für den Entwicklungsbetrieb herzustellen, idealerweise über die Bereitstellung gemeinsamer Test- und Zulassungsgelände durch die Behörden.

[9] Seitens JARUS liegt seit dem 01.02.2019 eine Entwurfsfassung zu CS-UAS vor.

2.1.4 Zusammenfassung

Die vorangegangenen Ausführungen verdeutlichen die Heterogenität von Drohnen, zeigen Handlungsbedarf auf sowie demonstrieren auch erhebliche Unterschiede in der derzeitigen regulativen Ausgestaltungstiefe und damit auch im Hinblick auf die Standardisierung. Die Regulierung ist in der Kategorie open bereits heute weit fortgeschritten, wohingegen nur grundlegende Regelungen für die Kategorien specific und certified vorliegen:

- Open: Drohnen dieser Kategorie sind die derzeit geläufigsten Muster aus dem Spiele- und Vermessungs-/Photographie Bereich. Sie dürfen eine maximale Startmasse (MTOM) von 25 kg inklusive Nutzlast nicht überschreiten und müssen eine Flughöhenbegrenzung zwischen 50 m und 120 m aufweisen. Sie brauchen grundsätzlich keine explizite Genehmigung vor einer Nutzung und keine weiterführende Zertifizierung des Piloten. Allerdings differenziert der deutsche Gesetzgeber in verschiedene Unterklassen, nach denen ab 2 kg Startmasse Kenntnisnachweis und ab 5 kg Erlaubnispflicht gefordert wird. Dies gilt unabhängig von der Masse zudem ab einer Flughöhe von 100 m.
- Specific: Drohnen dieser Kategorie entsprechen nicht vollständig den Vorgaben der Kategorie open (Negativdefinition), müssen in Bezug auf ihren intendierten Einsatz präzise erläutert werden und konkret für dieses Szenario eine Zulassung durch die zuständige Behörde (in Deutschland die jeweilige Luftfahrtbehörde des Landes) erhalten. Für das Szenario ist im Rahmen des Genehmigungsprozesses eine Sicherheitsbewertung (SORA, Specific Operation Risk Assessment) durchzuführen und hierbei erkannte Risikominderungserfordernisse als Auflage vorgenannter Zulassung umzusetzen.
- Certified: Diese Drohnen mit MTOM > 150 kg entsprechen nicht vollständig den Vorgaben der Kategorien open bzw. specific (Negativdefinition), bedürfen der Einzelzulassung aufgrund ihrer erhöhten Risikopotenziale, eines lizensierten Piloten (RP, Remote Pilot) und eines zugelassenen Betreibers mittels Light bzw. Certified UA Operator Certificate (LUC/CUC) durch die zuständige Behörde.

In Deutschland werden diese Kategorien seit 2017 bis auf weiteres durch die nationale Drohnenverordnung des BMVI formalisiert (siehe Hinweis in Kategorie open). Durch die neue EU Grundverordnung aus 2018 ist allerdings davon auszugehen, dass die Verordnung mittelfristig durch eine explizite seitens EASA entwickelte Regelung ersetzt wird.

2.2 Einsatzszenarien

Die in der vorliegenden Stellungnahme fokussierten zivilen Drohnen werden bereits heute im Transportsektor für Messgeräte, Fracht und fallweise auch schon Menschen eingesetzt; vielfältige künftige konkrete Einsatzbereiche sind konzipiert, visionäre Konzeptstudien für Lufttaxis zum Personentransport liegen vor (Firmen Audi,

Airbus, Lillium). Einige der avisierten Einsatzszenarien werden erst durch die „4. Industrielle Revolution“ möglich, da sie eine enge Fusion von physischen, digitalen und menschlichen Systemen voraussetzen. Geschäftsmodelle, die mittels bemannter Fluggeräte bisher entweder unmöglich oder zumindest unwirtschaftlich waren (wie der Einsatz heutiger Helikopter), entwickeln sich aber schon heute mit enormer Geschwindigkeit und schnell wachsendem Reifegrad.

Drohnen sind dabei immer ein Trägermedium. Sie können Menschen, Güter, Messausrüstung oder auch Geräte transportieren, die selbst Tätigkeiten ausführen wie z. B. Reparaturen oder die Düngung von Feldern. Unter der Vielzahl an verschiedenen Arten von Drohnen ist die Multicopter-Konfiguration (Rotary Blade) am häufigsten vertreten, gefolgt von der Flächenflieger-Konfiguration (Fixed Wing). Die derzeitigen und von der EASA prognostizierten Anteile sind in nachfolgender Tabelle 1 dargestellt. Der Großteil dieser Drohnen wird elektrisch angetrieben, 92 % aller zivil genutzten Drohnen der Kategorie open und specific bis 25 kg MTOM wiegen effektiv weniger als 4 kg.

Type	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	CAGR (2015–2020)
Fixed Wing	9,826	17,698	26,700	34,630	40,577	44,943	48,365	22.27%
Rotary Blade	460,351	887,755	1,442,558	2,029,252	2,600,367	3,181,745	3,830,073	33.96%
Nano	-	8,110	14,849	23,268	32,902	44,080	57,721	40.41%
Hybrid	-	2,771	9,198	19,624	33,820	52,124	75,837	69.45%
Total	**470,176**	**916,333**	**1,493,306**	**2,106,775**	**2,707,666**	**3,322,892**	**4,011,995**	**34.36%**

Tabelle 1 Anteil von Drohnen nach bautechnischer Konfiguration, weltweit [EASA] [10]

Ein weiteres Merkmal von Drohnen, das sich aus der EASA-Studie ergibt, ist die erwartete Lebensdauer von nur ca. 30 Monaten, die den aktuell enormen Innovationsrhythmus reflektiert.

Mit der hohen Innovationsintensität nimmt auch die Heterogenität der Drohnen und ihrer Einsatzgebiete zu. Zunächst stellt sich die Frage, welche der vorhandenen sowie auch künftig denkbaren Einsatzbereiche für Drohnen sich wie entwickeln werden. Nur so lassen sich später Handlungsempfehlungen für den verkehrspolitischen Umgang mit Drohnen ableiten. Naturgemäß beschränken sich die folgenden Ausführungen auf eine Auswahl von Einsatzszenarien.

Drohnen als Transportgerät für Messausrüstung

Drohnen werden bereits heute mit verschiedensten Geräten zur Datenerfassung und -übertragung ausgerüstet. Transportiert werden vor allem Kameras (z. B. Tages-

[10] Vgl. EASA [A-NPA (B), 2017], S.10 ff.; CAGR = Compound Annual Growth Rate

licht, Wärmebild, Korona, pmd[11]) oder Detektoren (z. B. Laser, Radar, Ultraschall, Temperatur, Luftfeuchte). Dieser Bereich entwickelt sich derzeit sehr dynamisch mit vielfältigen möglichen Einsatzbereichen z. B. in der Landwirtschaft (z. B. Monitoring Wachstumsprozesse, Baumbestände, Schädlingsbefall, Schäden, Erntereife), Instandhaltung (z. B. Inspektion von schwer zugänglichen oder gefährlichen Anlagen wie Flugzeugoberflächen, Windkrafträder im Offshore-Bereich, Sendemaste), Katastrophenschutz (z. B. Finden von Erdbebenopfern oder Landminen oder Leckage durch das Technische Hilfswerk), Industriespionage, Unfallaufnahmen Polizei, Grenzschutz, Erfassung Schadensbilder durch die Feuerwehr, Bauwirtschaft (Überwachung Baufortschritt und Sicherung vor unbefugtem Zutritt und Diebstahl), Vermessung, Erstellung von Luftbildern, Geo-Daten. Die Standardisierung in all diesen Bereichen ist noch gering, Speziallösungen dominieren den Markt. Dieser Zustand erlaubt kurzfristig einen erkennbar vereinfachten Marktzugang, hemmt aber langfristig die Möglichkeiten der Vernetzung und Kombination von verschiedenen Systemen und Anbietern. Anforderungen von Seiten des Persönlichkeitsrechts und im Weiteren dann auch des Datenschutzes sowie der Safety sind leichter zu erfüllen, wenn die überflogenen Flächen in privater Hand sind (z. B. bei Anwendungen in der Landwirtschaft oder auf Baustellen), was die Dynamik dieser Anwendungen vor allem in diesen Bereichen fördert.

Drohnen als Transportgerät für aktive Geräte und Maschinen

Drohnen haben ein großes Potenzial, präzise Arbeiten an schwer zugänglichen und/oder gefährlichen Orten durchzuführen. Bisherige Einsatzbereiche umfassen vor allem die Landwirtschaft (z. B. gezielte Düngung oder Schädlingsbekämpfung), Instandhaltung (z. B. Reparatur von schwer zugänglichen Anlagen wie Strom-/ Gas-/ Ölleitungen, Windkraftanlagen), Showeffekte bei Großevents, Personal Flying Assistant (weist den Weg zu vorgegebenen Zielen z. B. bei Demenz) sowie Anwendungen im privaten Bereich.

Drohnen als Transportgerät für Güter

Drohnen können auch Güter als schnelle und zuverlässige Alternative zu den landgebundenen Verkehren befördern. Zahlreiche Unternehmen des Logistik- und speziell KEP-Bereichs (Kurier, Express, Paket) sowie auch Google und Amazon testen derzeit den Einsatz von Drohnen in der Paketzustellung. Lag anfangs der Fokus auf zeitkritischen Lieferungen und auf Zustellungen in schwer zugänglichen Gebieten, werden aktuell auch Tests zur Zulieferung in dünn besiedeltem Gebiet durchgeführt. Den ersten Lieferbetrieb über urbanem Gebiet führte der Drohnen-Hersteller Matternet in Kooperation mit Mercedes-Benz und dem schweizerischen Onlineversandhandel Siroop durch. In einem dreiwöchigen Projekt transportierten Drohnen

[11] Photomischdetektor (engl. Photonic Mixing Device) - ein optischer Sensor, dessen Funktionsprinzip auf dem Lichtlaufzeitverfahren beruht.

bis zu 2 kg schwere Pakete vom Händler zu einem von vier definierten sogenannten Rendezvous-Punkten im Züricher Stadtgebiet, um auf einem designierten Mercedes-Benz Transporter zu landen. Die Zustellung der Pakete beim Endkunden erfolgt durch den Lieferanten. Das Projekt wurde auf Basis SORA einzelfallgenehmigt. Das zunehmende Sendungsaufkommen im KEP-Bereich in Verbindung mit reduzierten Handelsbarrieren legt innovative Lösungen in der Paketzustellung nahe.

Drohnen erlauben im Vergleich zum landgebundenen Transport direktere Routen durch die Navigation im dreidimensionalen Raum. Insgesamt ergeben sich aber ungünstigere missionsbezogene Energieverbräuche und Emissionen, da diese pro zurückgelegter Flugstrecke wesentlich höher als bei der Fortbewegung auf der Erdoberfläche ausfallen: Moderne, elektrische Multicopter-Drohnen der Kategorie open haben einen spezifischen Leistungsbedarf von über 100 W/kg. Im Vergleich hierzu fährt ein E-Golf mit weniger[12] [13] als 10 W/kg. Eine Stärke von Drohnen ist der (erleichterte) Zugang zu schwer erreichbaren Zielen (z. B. große Hochhäuser, Öl-Plattformen, Inseln, Bergregionen, Urwald-/ Dschungelregionen, Katastrophengebiete, verseuchte/verstrahlte Gebiete) sowie die zeitlich und räumlich sehr präzise Lieferung an nahezu beliebige Orte (z. B. in Pkws, Paketboxen). Die potenziellen wirtschaftlichen Vorteile von Drohnen werden allerdings durch absehbare rechtliche Einschränkungen ihrer Einsetzbarkeit und wegen der Kosten von Safety und Security, die im Folgenden angesprochen werden, nicht vollständig gehoben werden können.

Zu den Herausforderungen zählen die bisher recht geringen Reichweiten von Drohnen im VLOS Bereich, das Gefährdungspotenzial durch Kollision und Abstürze, insbesondere im BVLOS Bereich, die begrenzte Traglast (max. 25 kg schwere Drohne einschließlich Nutzlast für die Kategorie open) sowie die hohen Kosten durch fehlende Bündelungseffekte (max. ein Paket pro Drohne). Auch künftig werden Drohnen wohl vor allem für Lieferungen mit hoher Dringlichkeit oder in schwer erreichbare Gebiete geeignet sein, bei denen Kosten von geringerer Bedeutung sind als bei Standardauslieferungen.

Zu den besonders geeigneten Einsatzbereichen zählen zeitkritische Lieferungen (z. B. Ersatzteile), die zur Aufrechterhaltung der Produktionslinie (Bsp. Ausfall von kritischen Maschinen) oder zur Fertigstellung eines Produktes zwingend notwendig sind sowie überlebenswichtige Lieferungen wie z. B. Organtransporte, die Beförderung von Medikamenten oder Blutkonserven in Konkurrenz zum heutigen kostenintensiveren Helikoptereinsatz.

[12] Siehe https://www.drohnen.de/19418/dji-phantom-4-pro-v2-0-test/ , https://www.dji.com/de/phantom-4-pro-v2/info#specs (Akku-Energie für 30 min Flugzeit bei 1,4 kg)
[13] Berechnet aus einem Verbrauch von ca. 14 kWh/100 km und einer Masse von ca. 1.800 kg auf Basis der mittleren Geschwindigkeit des NEFZ von 34 km/h (7,8 W/kg).

Drohnen als Transportgerät für Personen

Derzeit arbeiten zahlreiche Firmen an sogenannten Lufttaxis und damit an Drohnen der Kategorie certified (siehe hierzu auch Kap. 2.1.3). Zum Teil werden modulare Konzepte entwickelt, bei denen die Kabine eines bodengebundenen Fahrzeugs mit der Antriebstechnik eines Luftfahrzeugs kombiniert wird und so auch fliegen kann. Die technologischen Entwicklungen in diesem Bereich sind dynamisch, aber noch in einer sehr frühen Testphase der Untersuchung von Machbarkeiten. Eine nennenswerte Nutzung von Lufttaxis ist nur zu erwarten bei im Vergleich zu heutigen bemannten Helikoptern deutlich reduzierten Kosten und sehr guter Verknüpfung mit den bodengebundenen Verkehrsangeboten. Dies wird in Kapitel 6 genauer betrachtet.

Zusammenfassend kann festgehalten werden: die Vielfalt der Anwendungen steigt, belastbare Zahlen zur als hoch dynamisch eingeschätzten Marktentwicklung fehlen weitgehend. Somit besteht die Herausforderung, bisherige Regulierungsansätze im Lichte der Risikobegrenzung einerseits und des Marktwachstums andererseits zu beleuchten.

3 Regulatorische Herausforderungen und Perspektiven

3.1 Handlungsbedarfe im Kontext der bisherigen Regulierung

Spätestens im Jahr 2012 erkannten die zuständigen Luftfahrtbehörden der Länder Europas und damit auch die EU bzw. die durch sie beauftragte European Aviation Safety Agency (EASA) ein dringendes Regulierungserfordernis für Bauvorschriften und Zertifizierung von Drohnen im „gemeinsamen" Luftraum (also jenem, der auch von der konventionellen Luftfahrt bisher genutzt wird) aufgrund der geschilderten Marktentwicklung und des grundsätzlichen Regelungsbedarfs für alle Angelegenheiten des gemeinsamen Europäischen Luftraumes gemäß der im Juni 2018 abgelösten EU VO 216/2008. Hiernach war EASA aufgefordert, eine einheitliche Europäische Rahmenrichtlinie („Regulatory Framework") für Bauvorschriften und Zertifizierung (Certification Specifications, CS) von Drohnen zu entwerfen, wie sie bereits für konventionelle Fluggeräte existieren. Der Entwicklungsbetrieb ist verantwortlich für die Nachweiserbringung, dass die Konstruktion den CS der EASA entspricht. Folgende CS zu ähnlichen Fluggeräten liegen derzeit gemäß Tabelle 2 vor[14]:

Zertifizierungsrichtlinie	Titel/Thema
CS 22	Segelflugzeuge und Motorsegler
CS 23	Kleine Luftfahrzeuge
CS 25	Große Luftfahrzeuge
CS 27	Kleine Helikopter
CS 29	Große Helikopter
CS 34	Emissionen bei Luftfahrzeugmotoren
CS 36	Lärmentwicklung
CS-APU	Hilfsgasturbinen
CS AWO	Allwetterflugbetrieb
CS-E	Triebwerke
CS-ETSO	Technische Festlegungen für Luftfahrtprodukte
CS-P	Propeller
CS-VLA	Ultraleichtflugzeuge
CS-VLR	Ultraleichthelikopter

Tabelle 2 Bis dato existierende EASA Zulassungsvorschriften zu Drohnen-ähnlichen Fluggeräten

[14] Siehe https://www.easa.europa.eu/document-library/certification-specifications

Intention war es, den Entwicklungsunternehmen von Drohnen Informationen an die Hand zu geben, unter welchen Bedingungen neue Produkte wie eingesetzt werden dürfen und damit eine verlässliche Planungsgrundlage für neue Geschäftsmodelle zu schaffen. Weiterhin sollte so auch den Themen der Luftverkehrssicherheit (Safety) und Luftsicherheit (Security) Rechnung getragen werden. Im Jahr 2015 veröffentlichte die EASA eine diesbezügliche „Advanced Notice of Proposed Amendment" (A-NPA 2015-10), ergänzt um eine „Technical Opinion" später im selben Jahr mit der Aufforderung an Industrie und allgemein auch die Öffentlichkeit, Hinweise und potenzielle Anpassungsvorschläge zu unterbreiten. Nach Rücklauf und Prüfung publizierte die EASA sodann 2016 die Entwurfsfassung (‚Prototype') einer „Commission Regulation on unmanned aircraft operations in Europe" mit 33 Vorschlägen[15]. Die Fassung fokussierte bereits auf sowohl industriell als auch selbstentwickelte Drohnen, da beide Varianten letztlich kommerziell und auch nicht-kommerziell eingesetzt werden könnten und leitete daraus ab, dass beide auch den gleichen Regeln unterworfen sein sollen. Ein wesentliches weiteres Merkmal der empfohlenen Rahmenrichtlinie war die implizite Infragestellung der bisherigen Grundverordnung (‚Basic Regulation') EU VO 216/2008 mit der dort geltenden 150 kg Massengrenze für die Zuständigkeit der Zulassung von Drohnen durch die EASA mit damit europaweit einheitlichen Zulassungserfordernissen. Die EASA entwarf in der Folge insbesondere für die „kleinen" Drohnen die in Kap. 2 weiter oben vorgestellten Technischen Meinungen zur Einführung von drei Drohnenkategorien, dem jeweiligen Gefährdungspotenzial vermeintlich entsprechend, aber auch im Blick auf das zugedachte Operationsgebiet (beispielsweise der Einsatz über Stadtgebieten versus über Wasser). Hierzu wurden die risikobasierten Kategorien open, specific und certified über den gesamten Gewichtsbereich eingeführt.

Die rechtlichen Grundlagen für Entwicklung und Betrieb von Drohnen müssen dabei Aspekte der Sicherheit sowie den Schutz der Privatsphäre umfassen. Sicherheit wird speziell auch in der Luftfahrt aus zwei unterschiedlichen Gesichtspunkten betrachtet. Zum einen ist dabei die betriebliche Sicherheit (Safety) innerhalb des Systems Luftverkehr relevant, zum anderen die Abwehr von Gefahren, welche von außen auf das System Luftverkehr einwirken können (Security).

In Bezug auf Security müssen für Drohnen neuartige Regelwerke entwickelt werden. So sind meistens keine Menschen an Bord, welche bei vorsätzlichem Missbrauch oder unrechtmäßigem Eingriff in das System zu Schaden kommen können. Die Richtlinien der bemannten Luftfahrt zur Abwehr gefährlicher Eingriffe nach ICAO Annex 17, wie beispielsweise die Sicherheits- und Gepäckkontrollen von Passagieren, Frachtkontrollen oder die Zuverlässigkeitsüberprüfung des Personals, sind in den EASA-Kategorien open und specific entweder nicht notwendig (z. B. Passagier-

[15] siehe https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/UAS%20Prototype%20Regulation%20final.pdf

kontrollen) oder lediglich auf spezifische Missionen anwendbar (z. B. Frachtkontrolle beim kommerziellen Betrieb der Paketzustellung mittels Drohnen) oder in bestimmten Fällen nur mit sehr großem Aufwand realisierbar (z. B. Zuverlässigkeitsüberprüfungen der Piloten von Hobby-Drohnen in der Kategorie open).

Derzeit sind leichte Drohnen und deren Komponenten insbesondere in der EASA-Kategorie
open aufgrund des käuflichen Erwerbens für jede Person frei und ohne nennenswerte Barrieren zugänglich. Das steht im starken Kontrast zur bemannten Luftfahrt mit ihren stringenten Kontrollen. Sofern also Drohnen dieser Kategorie weiterhin frei und ohne Ausweispflicht erwerbbar bleiben, wechselt der Security-Fokus möglicherweise von der Abwehr gefährlicher Eingriffe (international: unlawful interference) auf leichte Drohnen hin zur Vermeidung des vorsätzlichen Missbrauchs mit leichten Drohnen. Für die EASA-Kategorie open fokussiert Security auf die Reduzierung des Risikos eines vorsätzlichen Missbrauchs, während Safety diese Betrachtung für den ordnungsgemäßen Betrieb vornimmt. Für Missionen in der EASA-Kategorie specific, die ein inakzeptables Sicherheitsrisiko mit sich führen, können Risikominderungsmaßnahmen über das dort geforderte Risikobewertungsverfahren (SORA) definiert werden (siehe hierzu auch Kap. 5.1).

Neben Safety und Security muss weiterhin der Schutz der Privatsphäre (Privacy) in die Betrachtung eingebunden werden. Privacy ist beim Einsatz von Drohnen deshalb relevant, weil diese häufig mit einer Kamera oder weiterer Sensorik ausgestattet sind. Dadurch können persönliche Daten an zuvor öffentlich unzugänglichen Orten (z. B. Privatgrundstücke) aufgenommen werden. Obendrein sind sich die Betroffenen der Aufnahme unter Umständen nicht bewusst, wenn Drohnen in größeren Höhen geflogen werden. Somit erwächst das Risiko der Störung der Privatsphäre Dritter sowie der Nichtbeachtung des Datenschutzes persönlicher Daten, falls die aufgenommenen Daten veröffentlicht oder weitergegeben werden. Zwar sind die Grenzen für eine Verletzung von Privacy häufig subjektiv. Jedoch gelten Privatsphäre und Datenschutz, nicht zuletzt mit der jüngst zum 25.05.2018 in Kraft getretenen Datenschutz-Grundverordnung DSGVO in Europa und das hierzu erneuerte nationale Bundesdatenschutzgesetz (BDSG) als Grundrecht und müssen deshalb im Rahmen der neuen Regularien berücksichtigt werden.

3.2 Herausforderungen für die Regulierung von Drohnen

Die dargelegten Entwicklungen stellen das heutige Luftverkehrssystem vor einzigartige Herausforderungen in den folgenden Bereichen:

- Aufrechterhaltung der Luftverkehrssicherheit (Safety)
  - Hierzu zählen zunächst Herausforderungen, die aus der gemeinsamen Nutzung des kontrollierten Luftraumes durch Drohnen und konventionelle, kommerziell genutzte Fluggeräte (Verkehr nach Instrumentenflugregel, IFR)

resultieren, als auch aus der möglichen Gefährdung von Menschen und Objekten am Boden durch Drohnenbetrieb. Es ist zu prüfen, ob und inwieweit heutige Institutionen der Flugsicherung (wie z. B. die DFS) in der Lage sind, Drohnen einfach „mit zu kontrollieren". Vieles spricht für einen erweiterten, vermutlich zentralisierten Service.

  - Zum zweiten gibt es offene Fragen zu der gemeinsamen Nutzung des bodennahen Luftraums (VLL) durch die Kategorien open und specific mit heutigem, überwiegend nicht kommerziell orientiertem Sichtflug-Verkehr (VFR), der dezentral und quasi ungeplant stattfindet.

- Es ist im Lichte der letztlich gewählten Überwachungsphilosophie von Drohnen sodann zu prüfen, ob die Aufteilung in oberen, unteren sowie bodennahen (VLL) Luftraum einerseits und kontrollierten sowie unkontrollierten Luftraum andererseits aufrechterhalten werden sollte.
- Aufrechterhaltung der Luftsicherheit (Security) als Vermeidung von Sabotage oder Terroranschlägen;
- Datensicherheit (u. a. Cybersecurity) z. B. in der Datenübertragung (Robustheit des sog. C2 bzw. C3 Datalink zwischen Remote Pilot und Drohne);
- Gewährleistung des Schutzes der Privatsphäre sowie des Datenschutzes beim Überflug dicht besiedelter, also i.d.R. urbaner Gebiete (Privacy);
- Gewährleistung hinreichender Kapazität als maximal erreichbare, sichere Luftverkehrsdurchsatzleistung unter Berücksichtigung der verschiedenen Luftraumklassen (C-G) und Typen an Fluggeräten (Multicopter, Starrflügler, Tilt-Motor-Hybride);
- Minimierung weiterer zu ermittelnder negativer externer Effekte durch den Drohnenbetrieb (z. B. Störung von Mensch und Natur durch fliegendes, akustisch wahrnehmbares Gerät);
- Gewährleistung einer stadtplanerisch verträglichen Integration dieses neuen Transportsystems.

Die untenstehende Abbildung 2 zeigt beispielhaft für den Bereich Safety Trends in der Vorfallhäufigkeit von Konflikten zwischen Drohnen und konventionellem Fluggerät. Auffällig ist dabei die hohe Anzahl an Sichtungen in Flughöhen auch über 150 m (500 ft)[16], der eigentlich für die open Kategorie nicht zulässig ist. Die Wahrung des heutigen hohen Niveaus in der Luftverkehrssicherheit ist somit ganz offensichtlich eine zentrale Anforderung an die Ausgestaltung der betrieblichen Rahmenbedingungen für Drohnen, die bis dato noch nicht erreicht ist. Eine Analyse der European Central Repository[17] (ECR/ECCAIRS) ergab 2.141 Drohnen-bezogene Ereignisse für den Zeitraum von 2010 bis 2016. Unterteilt wird dabei in Accidents (Unfälle) und Incidents (Vorfälle). Ein aktuelles Ereignis mit enormer Tragweite stellt eine

[16] Vgl. EASA [A-NPA (B), 2017], S. 55 ff.
[17] Ausgewertet aus https://ec.europa.eu/jrc/en/scientific-tool/eccairs-european-central-repository-aviation-accident-and-incident-reports

unzulässige Annäherung von Drohnen in die No-Drone-Zone des zweitgrößten britischen Flughafens Gatwick im Dezember 2018 dar, die für 36 Stunden den gesamten kommerziellen Flugbetrieb dort zum Erliegen brachte. Ein Großteil der registrierten Ereignisse beläuft sich insoweit auf Vorfälle, bei denen die Annäherung einer Drohne an ein bemanntes Luftfahrzeug gemeldet wurde. Nachfolgende Abbildung 2 liefert neben der Häufigkeiten für derartige Vorkommnisse zudem den jeweils gegebenen Abstand zwischen Luftfahrzeug und Drohne zum Zeitpunkt der Entdeckung als Maß der Kritikalität der Situation.

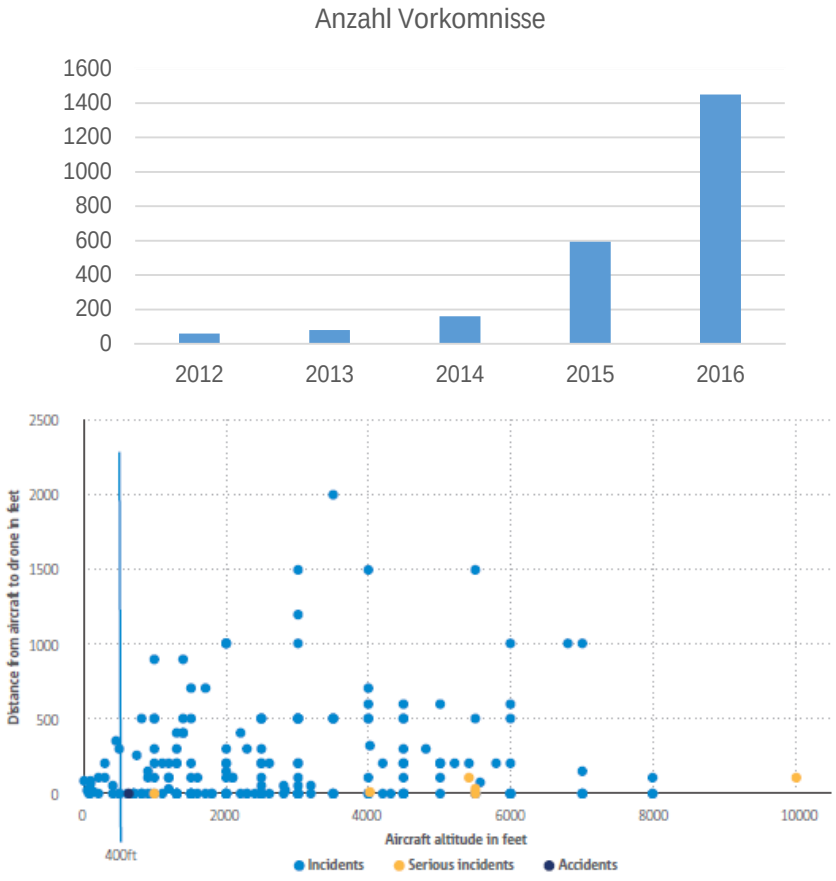


Abbildung 2 Erfasste Drohnenvorfälle, 2012-2016 (oben) mit Abstand bei Entdeckung, 2010-2016 (unten) [EASA]

Ein Blick auf das UAS Safety Risk Portfolio[18] der EASA für die gemeldeten Ereignisse bezüglich Drohnen im Zeitraum zwischen 2012 und 2016 liefert weitere Erkenntnisse: Neben einer Vielzahl an Vorfällen wurden auch 33 Unfälle ohne tödlichen Ausgang verzeichnet. Dabei sind die größten Sicherheitsprobleme betrieblicher Natur, gefolgt von solchen technischer und menschlicher Natur. Das o.g. UAS Safety Risk Portfolio identifiziert dabei die drei Komponenten Guidance and Control System (Flight Controller), Antrieb und Energieversorgung als Quellen für Sicherheitsprobleme technischer Natur.

[18] Siehe https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/UAS%20Safety%20Analysis.pdf

3.3 Konsequenzen für die Weiterentwicklung des regulatorischen Rahmens

Aufgrund der besonders dynamischen Marktentwicklung wurde den Kategorien open und specific Priorität für die Entwicklung des o. g. „Regulatory Framework“ gegeben. Für die Kategorie certified läuft dieser Prozess nun an. 2017 veröffentlichte die EASA das um 3.700 (!) Hinweise von etwa 250 Einrichtungen und interessierten Nutzern bereinigte NPA 2017-05 (B)[19] als Rahmenrichtlinie für die beiden erstgenannten Drohnenkategorien. Diese große Beteiligung verdeutlicht, welch hoher Stellenwert der Regelung des Drohnenbetriebes seitens der Nutzer offensichtlich beigemessen wird. In dem NPA 2017-05 (B) wurde die Aktualisierung der EU Grundverordnung dahingehend angeregt, dass alle Drohnen unabhängig von ihrer Masse (MTOM), also auch unterhalb von 150 kg, zukünftig EU-weit harmonisiert berücksichtigt werden sollen. Die Grundverordnung wurde sodann am 22.12.2017 durch das Europäische Parlament angenommen und entsprechend dieser Anregung durch die EU umgesetzt. Um die Grundverordnung möglichst zweckgerichtet auslegen zu können, erarbeitete EASA zum 06.02.2018 eine weitere Technical Opinion 01/2018[20] für die Drohnenkategorien open und specific. Hierin macht EASA erneut deutlich, dass der Drohnenbetrieb unverändert einer europaweit harmonisierten Rahmenrichtlinie bedarf, um höchste Luftverkehrssicherheit, Schutz der Privatsphäre und Datenschutz gewährleisten zu können. So entwarf EASA unter Beachtung von Entwicklungen bei ICAO, den Joint Authorities for the Rulemaking of Unmanned Systems (JARUS) und der Amerikanischen Luftfahrtbehörde in den USA (Federal Aviation Administration, FAA) auch bereits eine Entwurfsfassung[21] für eine derartige Rahmenrichtlinie. Im Wesentlichen empfiehlt der Entwurf Folgendes:

- Eine Risikominderung für den Betrieb von Drohnen der Kategorie open ist durch eine Kombination von Betriebsbeschränkungen, Regeln, Qualifikationsanforderungen an den ‚Remote Pilot‘ und technische Anforderungen (CE – geprüfte Sicherheit - Label) an die Drohne dergestalt zu erreichen, dass der Betrieb ohne vorherige Genehmigung durch die Aufsichtsbehörde (LBA/DFS in Deutschland) „sicher“ ist.
- Eine Risikominderung für den Betrieb von Drohnen der Kategorie specific ist durch eine seitens des Betreibers verbindlich durchzuführende Risikoanalyse (SORA) vor Inbetriebnahme bzw. vor Missionsstart im Falle spezieller Missionsbedingungen zu erreichen. Alternativ mag der Betreiber ein Zertifikat erlangen, das ihn zu klar festzulegenden Operationen berechtigt.

[19] https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/NPA%202017-05%20%28B%29.pdf
[20] https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Opinion%20No%2001-2018.pdf
[21] https://www.easa.europa.eu/sites/default/files/dfu/Draft%20AMC%20%20GM%20to%20draft%20Regulation%20...-...%20and%20to%20the%20draft%20Annex%20%28Part-U....pdf

Für die Mitgliedstaaten, also auch Deutschland, verbleibt also ein relevanter Gestaltungsspielraum

- für die Festlegung der Luftraumnutzung, speziell auch der „Nicht-Nutzung" durch Drohnen aller Kategorien, wie auch
- die Umsetzung der Bau- und Zertifizierungsvorschriften für alle Drohnenkategorien, speziell auch der Kategorie certified, die nun bei der EASA in der Ausgestaltung sind.

So sollen Verbotszonen, Zonen mit eingeschränkten Rechten oder auch – umgekehrt - speziell ausgelegte Zonen für Drohnenbetrieb national festgelegt werden (EU Grundverordnung Artikel 12, Airspace areas or special zones for UA operations). Dies wurde mit der Drohnenverordnung des BMVI in 2017 als erster Schritt auf sehr allgemeiner Ebene umgesetzt.

Aus der Entwurfsfassung leiten sich weitere Handlungserfordernisse wie folgt ab:

- In Gebieten, in denen Drohnen operieren dürfen, muss sichergestellt werden, dass stets ein Eingriff (safe failure) möglich ist, sollte Kontrollverlust über die Drohne eintreten.
- Für den Umgang mit Transporten gefährlicher Stoffe, die bisher nicht oder nur beschränkt transportiert werden dürfen, sind Kontroll-/ Überprüfungsverfahren zu etablieren, entlang den Empfehlungen der ICAO in Doc 9284 'Technical Instructions for the Safe Transport of Dangerous Goods by Air'.
- Zur Umsetzung der Registrierungspflicht wird ein 10teiliger Zahlencode zur eindeutigen Identifikation des Drohnenhalters empfohlen. Aufgrund des sehr dynamischen Marktes leiten sich allein hierfür hohe Anforderungen an das digitale Datenbankmanagement ab, um echtzeitfähig und gerichtsfest zu sein.
- Durch die zuständige Behörde (BAF/LBA) sind Verfahren der permanenten Sicherheitsüberwachung (Risk-based oversight, RBO) zu fixieren, die sicherstellen, dass die Drohnenbetreiber die Vorgaben auch wirklich umsetzen, insbesondere Berichtswesen, Training von Inspektoren, Durchführung von Audits.
- Der Aeronautical Information Service (AIS) mit den für Drohnenbetrieb umgesetzten Luftraumanpassungen soll sowohl geometrisch, geografisch (3D) als auch prozedural (Regeln für den Einflug, Ausflug, Abstand zu Objekten, usw.) angepasst werden.
- Die Publikationsinformationen im Luftfahrthandbuch Deutschlands (AIP) müssen erweitert werden.
- Un-/ Vorfallmeldungen, die durch Drohnen verursacht werden, sind im Prozesswesen von LBA und Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung (BFU) mit aufzunehmen.

Diese grundsätzlichen Erfordernisse, die in den letzten Anstrichen so auch als sogenannte U-space Services durch SESAR bezeichnet werden (siehe hierzu weiter unten) machen deutlich, dass Drohnenbetrieb in Gegenden dichter Bodeninfrastruktur bzw. dichter Besiedelung, insbesondere auch um sicherheitskritische Anlagen (wie Flughäfen), sehr detaillierter Vorgaben bedarf, um weiterhin einen insgesamt sicheren Luftverkehr gewährleisten zu können. Beispielsweise hat hierzu der Flughafen München bereits Sicherheitsanalysen durchführen lassen, um die Wahrscheinlichkeit unzulässiger Einflüge von Drohnen auf das Flughafengelände zu bestimmen und um sodann Risikominderungsmaßnahmen konzipieren zu lassen, mit denen hierauf umgehend und effizient reagiert werden kann[22].

Diese Forderung steht offensichtlich im Zielkonflikt mit den Bedürfnissen einer flexiblen Luftraumnutzung, befördert durch einen dynamischen Markt und der damit eintretenden Verknappung des bisher scheinbar unbegrenzten Luftraums. Die Herausforderung besteht somit in der konkreten Ausgestaltung der Regeln zur Luftraumnutzung durch Drohnen sowie der räumlichen und inhaltlichen Gestaltung von Bau- und Zertifizierungsvorschriften (CS, GM (Guidance Material) und AMC (Acceptable Means of Compliance)) für Drohnen im Schulterschluss mit der EASA, der sich nach der Meinung des Beirats der Bundesminister annehmen sollte.

[22] Projekt der Flughafen München GmbH mit der DLR GfR mbH in 2017/2018.

4 Planungssicherheit durch spezifisches Drohnen-Luftraummanagement

Fehlende oder unscharfe Regeln zur Luftraumnutzung durch Drohnen bringen sowohl für Hersteller als auch für Anwender eine gewisse Unsicherheit mit sich, die zu einer Innovationszurückhaltung führen kann. Insofern vermag eine besser absehbare Regulierung dazu beitragen, die Planungssicherheit für die Akteure zu erhöhen und damit Innovationen Vorschub zu leisten. In diesem Sinne sind mehrere Kategorien des Luftraummanagements für Drohnen adressiert.

4.1 Drohnenkategorisierung

Mit Einführung der drei risikobasierten Drohnenkategorien und den zusätzlichen Klassen in der Kategorie open ist offensichtlich noch keine hinreichende Trennschärfe in Bezug auf die konkreten operationellen Rahmenbedingungen für die Flugplanung innerhalb eines festzulegenden Operationsgebietes mit maximaler Reichweite und Integration in das Drohnen Luftraummanagement (UTM) für einen individuellen Drohnenentwurf (Bau und Zertifizierung) geschaffen. Hierzu bedarf es weiterer Rahmensetzung, die im Folgenden begründet wird.

Drohnen der Kategorien open und specific wurden bisher aufgrund der vor Novellierung der EU-Grundverordnung fehlenden Zuständigkeit seitens EASA auf nationaler Ebene bewertet und zugelassen. Im weiteren Kontext der SORA-Anwendung für specific-Drohnen waren Entwickler dieser Drohnen vorrangig missionszielorientiert aufgestellt. So besitzen einige Drohnen, die für Aufklärungsmissionen genutzt werden, deutlich höhere Flugdauern, jedoch dafür zumeist kaum zusätzliche Nutzlast aufgrund schwererer Akkus, um auch höhere Flughöhen zu erreichen. Hieraus entstand eine deutliche Heterogenität der am Markt verfügbaren Drohnen.

Nachfolgende Beispiele an Drohnen mögen dieses Bild verdeutlichen, jeweils einen Vertreter der verschiedenen Konfigurationen heraushebend. Bisher gibt es nur wenige Fixed Wing Drohnen in der Kategorie bis 25 kg. Sie sind aber dennoch ein wichtiges Element vieler „Urban Air Mobility“ Konzepte, da sie eine höhere Fluggeschwindigkeit und auch -reichweite erreichen als Propellerkonzepte, dies allerdings auch zulasten einer reduzierten Steuerbarkeit (Manövrierfähigkeit) auf engem urbanem Raum, auch dieses Konzept wird daher in der folgenden Tabelle 3 aufgeführt.

	Typ Flettner Hubschrauber Drohne	Single Rotor Drohne	Hexacopter Drohne	Luftschiff Drohne	Fixed Wing Drohne
Rotordurchmesser	2,8 m	2 m			
Länge			< 1 m	10 m	
Breite			< 1 m	3,34 m	
Höhe			< 0,5 m	3,77 m	
Flügelspannweite					3,2 m
MTOM	85 kg	14 kg	5 kg	15 kg	25 kg
Horizontale Fluggeschwindigkeit	20 m/s	15 m/s	15 m/s	10 m/s	40 m/s
Steiggeschwindigkeit	2 m/s	5 m/s	2 m/s	3 m/s	5 m/s
Maximale Flugdauer	50 min	20 min	18 min	120 min	30 min
Nutzlast	30 kg	6 kg	1 kg		6 kg

Tabelle 3 Exemplarische Drohnen verschiedener Bauarten

Bei diesen Werten darf allerdings die starke Abhängigkeit von der Zuladung nicht übersehen werden. Eine weitere Differenzierung dieser Werte ist damit für eine spätere Regulierung angezeigt. Unbenommen führen diese unterschiedlichen Betriebsparameter zu deutlich voneinander abweichenden Flugprofilen, Missionsplanungen und Gefährdungspotenzialen, die im UTM-Konzept in Form differenzierter Flugleistungskategorien (in Anlehnung an konventionelle LFZ-Leistungskategorien nach ICAO in Funktion der Anfluggeschwindigkeit) Niederschlag finden sollten. Ggf. könnten derartige Regelungen auf nationaler Ebene in einer fortgeschriebenen Drohnenverordnung Eingang finden, vor allem aber in den Regelungen der EASA einschließlich der avisierten CS für Drohnen der Kategorie certified. Pate hierfür mag für Drohnen der Kategorie open und specific die o. g. „Certification Specification for Light Unmanned Rotorcraft Systems (CS-LURS)“ der rechtlich nicht bindenden JARUS Gruppe stehen.

Schließlich ist in Bezug auf den “risikobasierten“ Ansatz insbesondere für die EASA-Kategorie open, Klasse C1 (Betrieb auch über Menschen zulässig) die Frage zu stellen, ob denn aufgrund der aufgezeigten Heterogenität überhaupt Risikoäquivalenz innerhalb einer Kategorie gegeben sein kann. Das Risiko wird (vorrangig) über die Gefahr determiniert, dass eine abstürzende Drohne Menschen am Boden trifft. Quantitativ lässt sich dieses Risiko über die kinetische Energie $E = 0{,}5 \cdot m \cdot v^2$ der Drohne zum Zeitpunkt des hypothetischen Zusammenstoßes bestimmen (m = Masse der Drohne, v = Eigengeschwindigkeit der Drohne). Wie bereits in Abschnitt 4.3.1 erläutert, sieht EASA eine MTOM von 900 g bzw. eine maximal wirkende kinetische Energie von 80 J in dieser Klasse vor. Um zu untersuchen, ob diese Grenze akzeptabel ist, können vereinfacht die vertikalen Kräfte bilanziert werden, die ausgehend von einer schwebenden Drohne in Höhe h zu entsprechender Fallgeschwindigkeit in Bodennähe führen. Diese Bilanz stellt die Gewichtskraft der Widerstandskraft entgegen. Die maximale Geschwindigkeit v_E ergibt sich im Gleichgewicht dieser Kräfte ($mg = \frac{1}{2}\,\rho \cdot v_E^2 \cdot A \cdot c_w$). Über diese fundamentale Beziehung lassen sich beliebige

kollisionshöhenabhängige Geschwindigkeiten ermitteln (z. B. 1,80 m über Grund als durchschnittliche Körpergröße eines Menschen). Führt man diese Berechnungen für heute typische Multicopter durch, so ergeben sich Werte für die potentielle Energie und v_E gemäß nachfolgender Tabelle 4. Zur Ermittlung der durchschnittlich wirkenden kinetischen Energie beim Zusammenstoß mit einem Menschen nach EASA wird diese mit dem Faktor 0,465 (Abbildung eines teilelastischen Zusammenstoßes) multipliziert:

ID	Drohnen	Masse m [kg]	Durchmesser d [m]	Effektive Bezugsfläche A [m²]	v_E [m/s]
A	Blade200QX	0,2	0,2	0,009	18,5
B	DJI Spark	0,3	0,17	0,007	27,0
C	DJI Mavic	0,7	0,33	0,026	21,5
D	YUNEEC H520	1,6	0,52	0,064	20,5
E	DJI Inspire	4,0	0,61	0,086	28,0

Tabelle 4 Geometrische und operationelle Parameter verschiedener Drohnen der Kategorien open/specific [Bluhm, 2018]

Die Ergebnisse sind unter Berücksichtigung der maximal erlaubten Flughöhe in nachfolgender Abbildung 3 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass Multicopter A, B und C auch bei einer Flughöhe von 120 m AGL nicht über dem Grenzwert von 80 J liegen. Multicopter D und E weisen bei maximal erlaubter Flughöhe hingegen wie erwartet eine höhere wirkende kinetische Energie auf, als in Betriebskategorie A1 erlaubt ist.

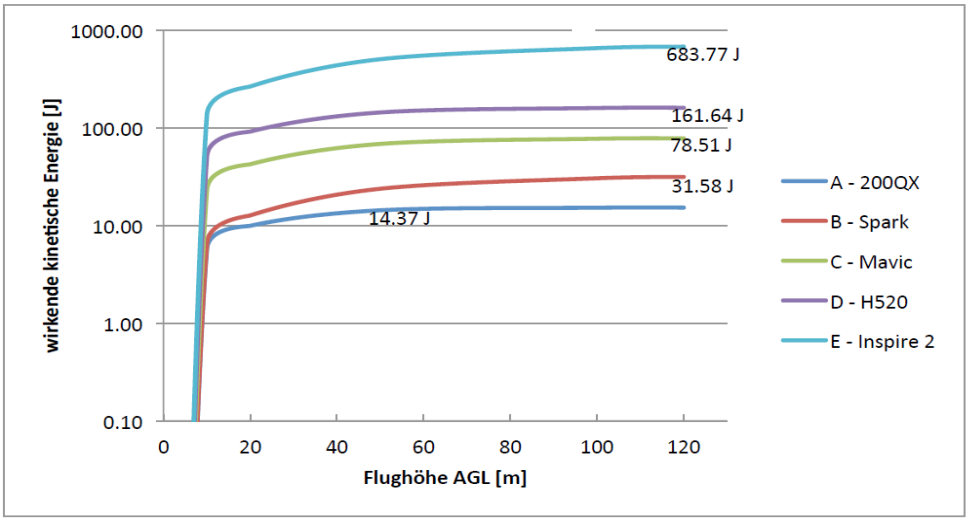


Abbildung 3 Wirkende kinetische Energie der modellierten Multicopter in Abhängigkeit der Flughöhe [Bluhm, 2018]

Mit den Ergebnissen kann weiterhin die Annahme des linearen Zusammenhangs zwischen MTOM und kinetischer Energie der EASA überprüft werden. Dazu werden

die Werte der wirkenden kinetischen Energie aus den vorangegangenen Berechnungen mit den erwarteten Werten nach EASA verglichen:

Drohnen ID	MTOM [kg]	E_{kin} ermittelt [J]	E_{kin} EASA [J]	Abweichung [%]
A	0,2	14	17	+ 19
B	0,3	31	27	- 15
C	0,7	78	65	- 16
D	1,6	161	146	- 10
E	4,0	684	357	- 48

Tabelle 5 Fehlerbetrachtung des linearisierten Energiemodells nach EASA

Die Tabelle 5 zeigt diesbezüglich deutliche Abweichungen. Da zudem der Grenzwert von 80 J auf dem Gurdjian Experiment mit stumpfen Gegenständen beruht, müssen weitere konstruktions- als auch ggf. personenspezifische Faktoren Berücksichtigung finden. Vor allem Elemente wie zum Beispiel scharfe Kanten am Rumpf, Propeller, Landegestelle oder Nutzlasten (z. B. Kamerasystem), die eine kleine Kontaktfläche bei einer Kollision darstellen, bedürfen zusätzlicher Beachtung. Zusammenfassend ist also festzustellen, dass auch der jetzige risikobasierte Ansatz als noch nicht endgültig ausgereift einzustufen ist, weitere Detaillierungen an den Vorschriften vonnöten sein werden, um Risiko und Flexibilität beim Bau und im Betrieb objektiv in Einklang zu bringen.

4.2 Berücksichtigung von Wetter

Das Wetter, insbesondere der Wind, hat einen großen Einfluss auf die Steuerbarkeit einer Drohne. Einflüsse wie Regen, Schnee oder der Betrieb in feuchter Atmosphäre (Nebel) müssen demzufolge vom Hersteller der Drohne untersucht und Betriebsgrenzen spezifiziert werden[23]. Wird beispielsweise eine Reduktion der Manövrierbarkeit unter bestimmten Bedingungen identifiziert, so ist dies bei der Planung der Flugroute zu beachten. Der Hersteller ist verpflichtet, die für den jeweiligen Betrieb notwendigen Umgebungsbedingungen anzugeben. Dies beinhaltet unter anderem den Betriebstemperaturbereich sowie die Luftfeuchtigkeit und Nasswetterfähigkeit: Ist eine Drohne gemäß ihrer Betriebseigenschaften nicht in der Lage, zuverlässig unter gewissen Umweltbedingungen wie Niederschlag, kritisch niedrige oder hohe Temperaturen (ein typisches Problem in der Akkutechnik) betrieben zu werden, so muss ein Detect and Avoid (DAA) System der Drohne in der Lage sein, diese widrige Bedingung zu detektieren und den Remote Pilot (RP) rechtzeitig zu warnen[24]. In der konventionellen Luftfahrt existieren zahlreiche meteorologische Grenzwerte u. a. für die minimale Horizontalsicht (Flugsicht), gegebene Bodensicht ja/nein (offensichtlich abhängig von der Operationshöhe), Licht (Tag/Nacht Festlegung), Windge-

[23] EASA; Technical Opinion, S.98, 2015
[24] ICAO Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS) Doc 10019 AN/507

schwindigkeiten und damit Seitenwindkomponenten, Niederschlag (Regen, Schnee, Eis) und SIGMET (engl. Significant Meteorological Phenomena wie z.B. Vereisungsgebiete, Gewitter). Hieran hängen Betriebsverfahren und die Infrastrukturnutzung (Start-/Landebahn bzw. Helipad nach EASA, NfL und IR-OPS). Derartige Grenzwerte sind für die Betriebsorganisation für Drohnen (UAS Traffic Management System, UTM) zu prüfen und geeignet zu spezifizieren.

4.3 Technologien und Institutionen für das Drohnenverkehrsmanagement

Drohnen sind wie dargelegt in ihren technischen Fähigkeiten sehr heterogen. Für ein zielgerichtetes Drohnenverkehrsmanagement (UTM) wird infolge empfohlen, Operationsbereiche zu formulieren, in denen jeweilige Drohnen erwartungsgemäß agieren und infolge zu Überwachen und ggf. zu steuern sind.

4.3.1 Operationsbereiche

Drohnenspezifische Restriktionen wie maximale Reichweite, maximale Flugdauer sowie die horizontale und vertikale Geschwindigkeit müssen bei der Routenführung und damit dem jeweiligen Operationszweck beachtet werden. Die Drohne wird unbenommen zu jedem Zeitpunkt durch einen Remote Pilot (RP) gesteuert. Dieser befindet sich innerhalb der Sichthorizont-Reichweite (VLOS) der Drohne. Es werden zunächst die Parameter für eine Drohne mit geringer Zuladung angenommen. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass im Ziel die Möglichkeit besteht, die Drohne energetisch zu laden. Unter diesem Terminus wird die vollständige Wiederherstellung des optimalen Zustands einer Drohne verstanden. Hierzu zählen das Aufladen der Energieressourcen, das Auffüllen sämtlicher für den Flug benötigter Stoffe sowie mögliche Wartungsarbeiten. Dies impliziert, dass die vollständige Reichweite des Luftsystems für den Flug von einer Quelle zu einer Senke zur Verfügung steht. Unberührt hiervon bleiben jedoch Sicherheitszuschläge für das Erreichen von Ausweichlandeplätzen sowie sonstiger Reserven. Besonders in zentrumsnahen Gebieten, die durch eine hohe Anzahl an Flugrestriktionen geprägt sein mögen, können instruktive Ergebnisse entstehen.

In der konventionellen bemannten Luftfahrt müssen die Grenzen des Operationsbereichs präzise festgelegt werden. Innerhalb dieses Missionsbereiches muss ein sicherer Flug unter fehlerfreiem Normalzustand sowie fehlerbehafteten Bedingungen und Notfallwiederherstellungsfähigkeiten nachgewiesen werden können. Bei der Bestimmung dieses Bereiches müssen, wie oben dargelegt, Umweltbedingungen wie Windgeschwindigkeit und Licht-/ Sichtverhältnisse berücksichtigt werden. Hierfür werden in der bemannten Luftfahrt für jeden Luftfahrzeug-Typ verschiedene Massen angegeben: Betriebsleermasse, Leertankmasse, maximale Lande- und maximale Startmasse. Die sog. „flight envelope“ wird zusätzlich mit minimalen und

maximalen Geschwindigkeiten (bei deren Verletzung sog. low und high speed buffet (Strömungsabriss) auftreten kann) sowie maximaler Flughöhe berücksichtigt.

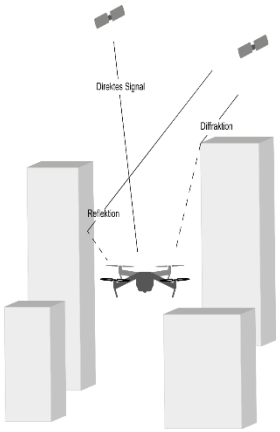
Auch der Betrieb von Drohnen bedarf insofern einer Definition von Operationsbereichen. Besonders in einem komplexen urbanen Operationsraum ist das Einhalten dieser Betriebsgrenzen unabdingbar. Der Betrieb einer Drohne außerhalb seines Operationsbereiches sollte als eine ernsthafte Störung im Sinne des Flugunfalluntersuchungsgesetzes (FlUUG) angesehen werden, das entsprechend präzisiert werden sollte. Andererseits sollte der Normalbetrieb so definiert sein, dass die Drohne in der Lage ist, ihre Flugparameter mit einem ausreichend kleinen statistischen Fehler autonom zu regeln, sofern die äußeren Einflüsse vorab definierte Grenzen nicht überschreiten. Dies betrifft die Haltung des Nick- und Rollwinkels, die Fluggeschwindigkeit, den Kurs, die Kursgeschwindigkeit sowie die Höhe. Eine exemplarische Herausforderung hierbei ist die Festlegung der minimal erforderlichen und im weiteren statistisch tatsächlichen (höheren) Genauigkeit in der Drohnen Routenführung.

4.3.2 Genauigkeit in der Kursführung

Die erreichbare Genauigkeit in der Routenführung ist somit offensichtlich von zahlreichen Faktoren (Fehlerquellen) bzw. der korrekten Bestimmung der aktuellen und während der Operation erwarteten Umweltbedingungen abhängig. Hierzu zählt der Aktionsweg aufgrund von Zeitverzögerung in der Flugzeugsteuerung: Ein Steuerbefehl besteht aus zwei Teilprozessen, dem sogenannten Command and Control. Zunächst werden Statusinformationen von der Drohne an den Remote Pilot (RP) übersendet (Control). Dies beinhaltet Informationen der Detect and Avoid Vorrichtungen, die Position und Lage der Drohne sowie weitere systemrelevante Informationen. Mithilfe der bereitgestellten Daten ist der RP in der Lage zu reagieren und einen Steuerbefehl an die Drohne zu senden (Command). Bei einer Operationsreichweite von knapp 30 km ergibt sich hieraus eine zwar gering erscheinende Verzögerung von $2 \cdot 10^{-4}$ s, die aber dennoch bei der Bestimmung des Flugerwartungsgebietes zu berücksichtigen ist. Hinzu kommen additiv Signalverarbeitungszeiten in der Drohne sowie die Reaktions- und Aktionszeit des RP. Besonders im Falle einer Störung können diese Parameter relevant werden. Veranschlagt man, orientiert an der Automobilindustrie, eine Reaktions- und Aktionszeit von etwa 1,5 Sekunden[25] und legt eine Reisegeschwindigkeit von etwa 12,5 m/s zugrunde, so ergibt sich bereits ein Lagefehler der Drohne von ca. 20 m. Weiterhin sind die Ausmaße einer Drohne bei der Berechnung zulässiger Flugrouten zu beachten (unter der modellhaften Annahme einer kugelförmigen Drohne: Die Kugel wird in einen Punkt transformiert und ihr Radius als Sicherheitsabstand auf die Hindernisflächen addiert bzw. von den Freiflächen subtrahiert). Für die Dimensionierung von Sicherheitsabständen ist

[25] Breuer, Bert; H. Bill, Karlheinz, Bremsenhandbuch: Grundlagen, Komponenten, Systeme, Fahrdynamik, S. 61 ff. Springer Verlag, 2017

schließlich die Betrachtung der Ortungsgenauigkeit unabdingbar. In der Regel basiert eine cm-genaue Direktpositionierung von Drohnen auf einem Onboard-Multisensorsystem, bestehend aus einem RTK-fähigen (real-time kinematic/Echtzeit-Kinematik) GNSS-Empfänger und zusätzlichen Sensoren. In diesem Fall hängt die absolute Positioniergenauigkeit im Wesentlichen von den lokalen GNSS-Messbedingungen ab. Besonders in städtischen Gebieten können aufgrund von Satelliten-Shadowing, Non-Line-of-Sight-Empfängen, Signalbeugung oder Multipath-Effekten aber diesbezüglich relevante Fehler in der Positionierung entstehen. Basierend auf einem 3D-Modell der Gebäude und Vegetation im Operationsraum sollte daher eine GNSS-Geometriekarte erstellt werden, die in den Flugplanungsprozess zu integrieren ist. Hierdurch können bereits im Planungsprozess degradierte GNSS-Umgebungen gemieden werden. Die Herausforderung besteht also darin, eine kontinuierlich gute Geo-Referenzierung zu gewährleisten, auch wenn wohl nur kleine und leichte Sensoren auf Drohnen eingesetzt werden. Zusätzliche Sensoren (z. B. MEMS (Micro Electro Mechanical System) Inertial Sensoren) können zur Reduzierung von Ortungsfehlern verwendet werden, jedoch führen Drift-Effekte bereits wenige Sekunden nach dem GNSS-Verlust zu einer Verschlechterung der Positionsgenauigkeit[26]: Auch bei Verwendung von zusätzlichen MEMS-Inertial Sensoren kann ein GNSS-Ausfall von 30 s bereits zu Abweichungen von 10-100 m führen. Dies könnte im urbanen Raum zu erheblichen Komplikationen führen. Satelliten-Shadowing ist ein weiterer determinierender Effekt, der sich auf die Ortungsgenauigkeit auswirkt.



Zusätzlich zur GPS-basierten Steuerung erfolgt insbesondere in Ballungszentren seit einigen Jahren die wachsende Installation von ortsfesten Navigationszeichen oder –sendern (4G/5G Sendemasten), an denen sich Drohnen sehr präzise orientieren können. Darüber hinaus werden Drohnen wohl zukünftig analog dem heutigen Kollisionsverhütungssystem TCAS im konventionellem Luftverkehr auch untereinander kommunizieren können, was die Flugsicherheit bei zunehmender Anzahl von Drohnen stark erhöhen wird.

4.4 Handlungsbedarf

Somit sieht der Beirat Handlungsbedarf in der Anpassung der Luftraumstruktur im VLL-Bereich, der bisher über Ballungszentren entweder unkontrollierter Luftraum (Typ G) ist oder - in der Regel nur sehr partiell - in den Bereich einer Kontrollzone (Typ D) eines stadtnahen / städtischen Flughafens fällt.

[26] Mohamed, H. A.; Hansen, J. M.; Elhabiby, M. M.; El-Sheimy, N.; Sesay, A. B., Performance characteristic MEMS-based IMUs for UAVs navigation, S. 337-343, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2015

Weiterhin wird offensichtlich, dass die heutige selbstorganisierte, dezentrale Luftraumbewirtschaftung in diesem unkontrollierten VLL-Luftraum wenig kompatibel zu den Anforderungen eines sicheren Drohen-Luftraummanagement ist. Hier gilt es Konzepte zu erarbeiten, die den Zielkonflikt heutigen (oftmals freizeitgeprägten) Verkehrs nach Sichtflugregeln (VFR) mit jenem eines (wohl zunehmend kommerziellen) Drohnenverkehrs, der dann vielmehr geplantem, heutigem Verkehr nach Instrumentenflugregeln (IFR) entspricht, aufzulösen vermag. Hierfür scheint also ein zentrales Überwachungskonzept analog der heutigen Flugsicherung des IFR Verkehrs einzig geeignet, da auch nur so der zunehmenden zu erwartenden Automatisierung des Drohnenbetriebes sinnvoll Rechnung getragen werden kann.

Damit ergibt sich in Folge die Auffassung des Beirats, dass UTM-Überwachung und Lenkung technologisch und prozessual zentral erfolgen sollte, je nach Automatisierungsgrad entweder bei einem ANSP wie der DFS (geringe Automatisierung) angesiedelt, oder bei Unternehmen wie die GfR am DLR oder Vergleichbare, die spezialisiert in der Überwachung von hochautomatisierten, entfernten Objekten (hier z. B. GALILEO Satellitensysteme mit zentraler Überwachung) sind. Entsprechende Erweiterungen bzw. Anpassungen in den Zertifizierungsanforderungen für ANSP auf Basis der EU VO 1035/2011 sollten hierfür entwickelt werden[27].

In der Folge wäre sodann über die Finanzierung einer solchen zentralen Einrichtung zu entscheiden. Klarerweise müssen die Betreiber von Drohnen für die Kosten aufkommen. Dies wird in der Zukunft wiederum die Frage nach einer ökonomischen Regulierung dieser zentralen Einrichtung aufwerfen, welche die Art und Höhe der Bepreisung von Drohnen mit dem Ziel der Deckung der Kosten der effizienten Leistungserstellung dahingehend überwacht, dass diese Einrichtung keine übermäßigen Monopolrenditen einfährt.

[27] DVO zur Festlegung gemeinsamer Anforderungen an die Erbringung von Flugsicherungsdiensten und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 482/2008 und (EU) Nr. 691/2010.

5 Sicherheit, Sicherheitsakzeptanz und Persönlichkeitsrechte

5.1 Sicherheitsbewertung SORA

Auf das Erfordernis eines sicheren Drohnen-Flugbetriebs ist bereits häufig eingegangen worden. Der risikobasierte Ansatz aller EASA-Drohnenkategorien weist konkret in diese Richtung, allerdings noch mit Unzulänglichkeiten, wie in Kap. 3 (z. B. 80 J Einhaltung, Nichtbeachtung von Security und Privacy Gefahren) exemplarisch aufgezeigt wurde. Das SORA stellt speziell für die Kategorie specific eine konkrete Handlungsanweisung im Rahmen des Genehmigungsverfahrens dar, allerdings bleibt die Ratio offen, nach welchen Maßstäben Restrisiken bewertet und letztendlich toleriert werden sollen. Die über die Restrisiken abzuleitenden Sicherheitsgrenzwerte (TLS, Target Level of Safety) diktieren aber maßgeblich Art und Umfang allfälliger Risikominderungsmaßnahmen innerhalb von SORA und bestimmen auf diese Weise die Höhe der Marktzugangsbarriere (rote/grüne Entscheidung in anliegendem Ablaufdiagramm gemäß Abbildung 4).

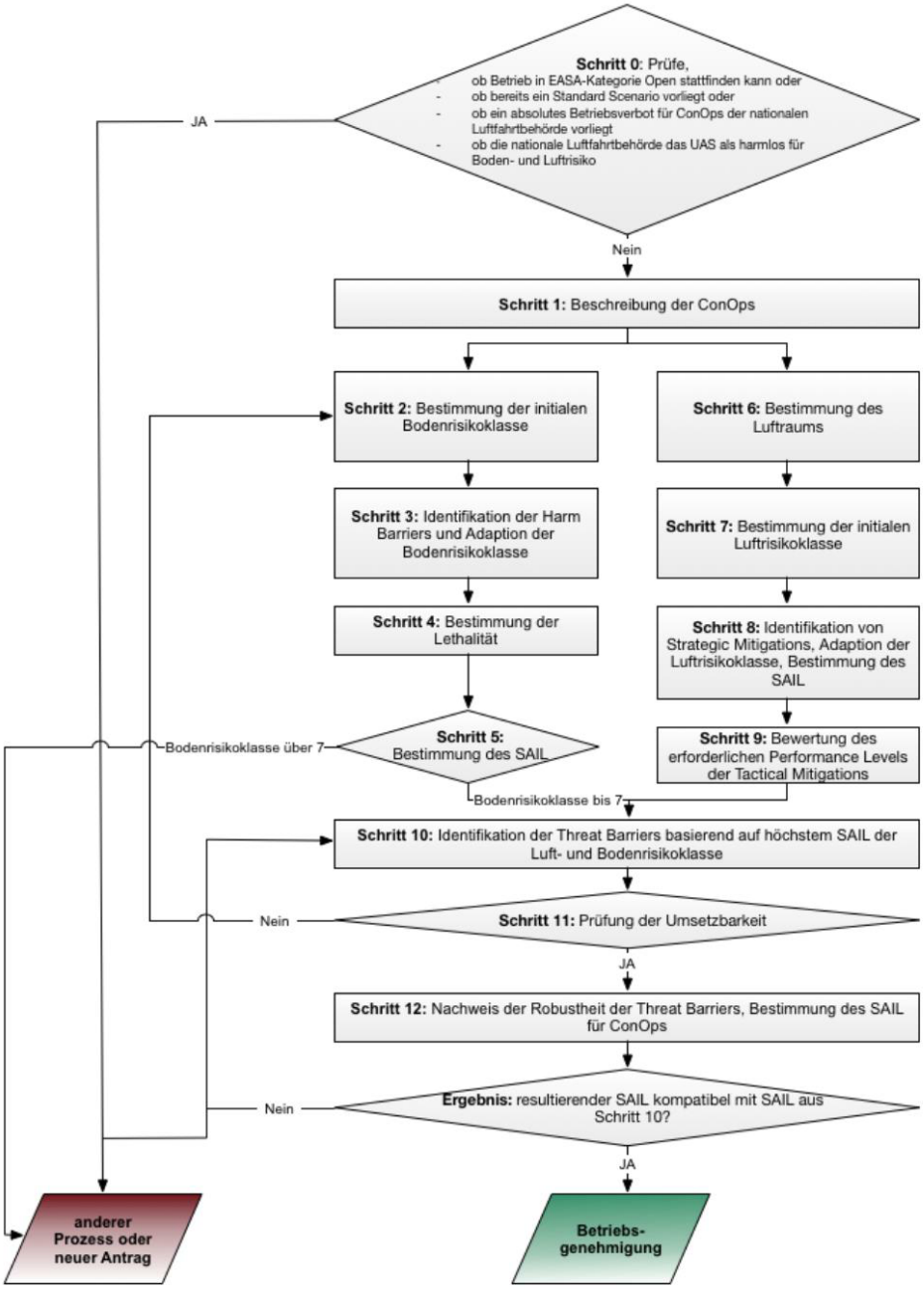


Abbildung 4 SORA-Prozess in Anlehnung an JARUS [Bluhm, 2018]

Die zentrale Gefahr, der unkontrollierte Absturz einer Drohne auf Menschen am Boden, wird in SORA durch vier Bodenrisikoklassen[28] abgebildet. Jede Klasse steht für eine maximal zulässige kinetische Energie zwischen 700 J und knapp 1.100 kJ (also um Größenordnungen höher als bei der open Kategorie C1 mit 80 J gekoppelt mit einem von 8 gesetzten Betriebsszenarien, die im Wesentlichen die Abhängigkeit zur überflogenen Personendichte sowie der Entfernung zur Drohne (VLOS/BVLOS) abbilden. Über die weitere Berücksichtigung von Lethalitätsfaktoren (Sterblichkeits-

[28] Als Grundlage zur Bestimmung der Bodenrisikoklasse (Schritt 2 SORA-Prozess) dienen der maximale Durchmesser der Drohne und die davon ausgehende kinetische Energie sowie das avisierte Betriebsszenario (z.B. VLOS in kontrollierter Zone, in einem Bereich mit niedriger Bevölkerungsdichte).

rate) pro Bodenrisikoklasse, die durch Risikominderungsmaßnahmen (z. B. Vorhalten eines Fallschirms für den Fall eines Motorausfalls an der Drohne) verbessert werden können und die Abbildung des Betriebskonzeptes auf bis zu 12 Luftraumklassen[29], wird für jede Bodenrisikoklasse eine Luftrisikoklasse festgelegt, die die Kollision der Drohne mit bemannten Luftfahrzeugen (aber nicht von Drohnen untereinander) berücksichtigt. Die Luftrisikoklasse 1-4 wird dann in ein Specific Assurance and Integrity Level (SAIL) überführt. Zur Minderung des Risikos können sodann noch Kollisionsverhütungssysteme eingerüstet werden. Eine wirklich transparente, trennscharfe quantitative Sicherheitsbewertung liegt mit SORA also noch nicht vor, wenn auch der Weg richtig ist. Eine Weiterentwicklung von SORA, auch im Lichte der Einführung ggf. weiterer Drohnenkategorien oder auch -klassen sowie sich weiter entwickelnder Luftraumklassen ist also geboten.

5.2 Privacy und Security

Der Schutz der Privatsphäre (Privacy) betrifft insbesondere die Gefahr des bewussten Ausspionierens von Privaten oder Unternehmen durch Drohnen, die mit Kameras, Richtmikrofonen oder weiterer Sensorik ausgestattet sind oder Sensoren in die Privat- bzw. Unternehmenssphäre von Dritten einbringen wollen. Letzterer Aspekt geht über in den Bereich der Security, also insbesondere der Vermeidung des vorsätzlichen Missbrauchs von Drohnen. Weitergehend geht es aber auch um mögliche Störgefühle von Menschen gegenüber fliegendem Gerät an ihren Aufenthaltsorten, im Straßenraum und auch in der Landschaft (z. B. Beeinträchtigung des Genusses der freien Natur). Diese negativen externen Effekte seien hier unter dem Stichwort „Privacy und Security“ subsummiert. In ähnlicher Weise wären auch Aspekte des Naturschutzes (z. B. Störung von Tieren) zu berücksichtigen.

Es gibt bisher noch kein konkretes Verfahren zur Berücksichtigung von Privacy in SORA, wenn auch die Einbindung als weitere Gefahrenkategorie grundsätzlich möglich erscheint. Die Berücksichtigung von Privacy sollte dabei keinen Einfluss auf die Logik zur Bestimmung der Boden- und Luftrisikoklasse haben, da kein unmittelbarer Zusammenhang zur Betriebssicherheit besteht (natürlich wird unterstellt, dass überhaupt Menschen anwesend sind). Wohl aber kann ein Bezug zu den Betriebsszenarien (Personendichte, Luftraumklasse) aufgestellt werden.

Auch hinsichtlich der Security ist im Rahmen der SORA über die Formulierung gesonderter Gefahrenbarrieren nachzudenken. Ein häufig aufgeführtes Security-Risiko ist die unbefugte Übernahme der Steuerung einer Drohne. Dies kann entweder über

[29] Die Ermittlung der initialen Luftrisikoklasse erfolgt über die Festlegung, welcher Luftraum durch den avisierten Betrieb in Anspruch genommen wird. Dadurch kann die Bestimmung des Kollisionsrisikos mit bemannten Luftfahrzeugen erfolgen. Die Einteilung in 12 Luftraumkategorien nach SORA ist damit
wesentlich granularer, als die alleinige Unterscheidung in die ICAO Luftraumklassen A-G.

die Störung der Signale eines GNSS oder des Command and Control (C2) Links der Drohne bzw. durch die Vortäuschung dieser Signale, das sogenannte Spoofing geschehen. Insbesondere die unverschlüsselten zivilen Signale des Global Positioning Systems (GPS), welche in den nicht-militärischen Drohnen Anwendung finden, sind anfällig für Spoofing, infolgedessen die Drohne außer Kontrolle gerät, solange der Flight Controller diese Signale zur Fluglagesteuerung verwendet. Es bedarf infolge der Entwicklung von Methoden/Algorithmen, die eine Störung des GPS Signals durch Spoofing verlässlich verhindern (Cybersecurity). Die konkrete Ausgestaltung von tolerablen Restrisiken zur Verletzung von Privacy und Security in einem weiterentwickelten SORA sollten detailliert ausgearbeitet und implementiert werden.

Wenn das konkrete Betriebsszenario fixiert ist, wäre es grundsätzlich denkbar, Privacy-Kosten für den Drohnen-Flugbetrieb in dicht besiedeltem Gebiet und in geringer Höhe durch den Erwerb von Überflugrechten zu internalisieren. Zur Vergabe derartiger Überflugrechte sind verschiedene Verfahren denkbar, die von stark regulierten Lösungen in Anlehnung an derzeitige Planfeststellungsverfahren bis hin zu marktnahen Lösungen reichen. Erstere bergen das Risiko langwieriger Genehmigungsprozesse, auf der anderen Seite aber auch die Chance einer tatsächlichen Implementierung von Flugrouten. Marktnahe Lösungen schaffen Raum für Innovationen, bergen aber die Gefahr, dass Geschäftsmodelle und somit konkret spezifische Flugrouten durch einzelne Akteure blockiert und damit verhindert werden. Denkbar für den letzteren Fall ist zudem eine Ergänzung in der Grundbuchordnung (GBO) um dreidimensionale Grundbucheinträge nach § 13 GBO ff., die dem einzelnen Grundstück/der Parzelle ergänzend eine Luftraumobergrenze zuordnen. Überflugrechte für „begehrte“, da zwischen relevanten Start- und Zielorten liegende Lufträume, könnten seitens des Besitzers, der im Falle von Wohngebieten auch der Hauseigentümer sein kann, geprüft und ggf. auch bewilligt werden, um durch Überflüge entstehende Beeinträchtigungen (negative Effekte) mit möglichst geringen Transaktionskosten internalisieren zu können. Bei einem solchen Ansatz besteht allerdings die Gefahr, dass Flugrouten nicht zustande kommen, weil einzelne Akteure einem Überflug nicht zustimmen. Bei Mietwohnungen besteht außerdem das Problem, dass Mieterrechte durch Verträge des Hauseigentümers verletzt werden können. Notwendig ist in jedem Fall die Regelung der Freigabe von Flugrouten, -zeiten und –höhen, die dann in der Luftverkehrsordnung (LuftVO, aktueller Stand 2015) auf Basis der Verordnung zur Regelung des Betriebs von unbemannten Fluggeräten (Stand 2017) niederzulegen wäre.

Möglich wäre ebenfalls, die Luftraumnutzungslogik für dicht besiedelte, insbesondere durch Mietverhältnisse geprägte Gebieten kommunal in den Landesentwicklungsplänen (LEP) zu regeln. In ihnen sind Luftraum-Nutzungsrechte für Drohnen nach verschiedenen Kategorien (z. B. Drohnenarten und Einsatzzwecke) zu fixieren, insbesondere auch Verbotszonen. Die rechtliche Grundlage wäre auch in diesem Fall gemäß EU VO vom Bund zu schaffen. Da viele der genannten negativen exter-

nen Effekte erst bei einer größeren Menge von Drohnen virulent werden, können Regulierungen auch auf eine Beschränkung des Zugangs von Drohnen zielen, mit welcher die Anzahl von Drohnenflügen über einem Gebiet in einem Zeitraum limitiert wird (wiederum ggf. nach Drohnentypen, Einsatzzwecken usw. differenzierte Festlegung von Kapazitätseckwerten, wie sie für Flughäfen etabliert sind). Dann wäre allerdings ebenfalls zu klären, wie solche regulativ verknappten „Drohnen-Slots“ (in begrifflicher Anlehnung an existierende Flughafen-slots) den verschiedenen interessierten Nutzern zugeteilt werden sollen. Hierfür könnten Preissetzungen oder Versteigerungen geeignet sein, für die der Bund ebenfalls die rechtliche Grundlage schaffen muss.

Insgesamt gesehen – auch unter Berücksichtigung des in Abschnitt 4.4 genannten Erfordernisses einer zentralen Steuerungseinrichtung und deren Finanzierung – ist es daher gut möglich, dass der „Sektor Drohnen“ der erste Netzsektor wird, bei dem die Kosten für die Steuerungsebene diejenigen der festen Infrastruktur übersteigen. Denn die feste Infrastruktur für Drohnen, die lediglich aus Lande- und Entladeplätzen bestehen wird, wird vermutlich mit relativ geringen Kosten (insb. versunkenen Kosten) pro Gerät bzw. Flug (etwa im Vergleich zu Schienen-basierten Verkehrssystemen) verbunden sein.[30] Diese Tatsache hat Auswirkungen auf den aktuellen regulatorischen Handlungsbedarf. Da Drohnen ohne schwere Infrastrukturinvestitionen auskommen, ist die Gefahr gravierender Fehlinvestitionen gerade im Anfangsstadium des Marktes relativ gering.[31] Daher können Drohnen durch spätere regulative Eingriffe auch leichter wieder aus bestimmten Einsatzgebieten zurückgedrängt werden, wenn sie dort von den Menschen als störend oder gefährlich empfunden werden. Diese grundsätzliche technologische Flexibilität erlaubt einen evolutionären und flexiblen Zugang zur Regulierung von Drohnen. Es wäre deshalb verfrüht, allzu detailliert ausziselierte Regelungen für den Einsatz von Drohnen schon jetzt zu erlassen. Eine politische Diskussion über die gesellschaftliche Akzeptanz kann erst dann sinnvoll geführt werden, wenn die breite Bevölkerung Erfahrungen mit Drohnen gemacht hat. Dies sollte über ein Monitoring mit folgenden Evaluierungen begleitet werden. So werden sich Einsatzfelder und Menge von Drohnen einerseits und restringierende Regulierungen andererseits sicherlich parallel, Hand in Hand entwickeln. Denn auch die Drohnen-Industrie ist an einer guten Akzeptanz ihrer Produkte interessiert und wird sich daher Bemühungen zur Abwehr von Auswüchsen und Gefahren nicht entgegenstellen.

[30] Die Kosten sowohl der festen Infrastruktur als auch der Steuerungssysteme wird stark von den Safety und Security-Anforderungen und den Technologien zu ihrer Realisierung abhängen.

[31] Auch ist auf Längeres nicht zu fürchten, dass Drohnen die Nachfrage nach anderen Verkehrsmittel signifikant „kannibalisieren“ könnten, so dass die Gefahr gravierender Fehlentscheidungen in deren Rückbau bestünde.

5.3 Sicherheitsrisiken für Menschen am Boden

Neben der Gefahrenanalyse von Menschen und Gebäuden, die unmittelbar und aktiv in den Flugbetrieb (von Drohnen) eingebunden sind, existieren auch reale Sicherheitsrisiken (Safety) für Dritte am Boden. Insbesondere bei autonomen Luftverkehrskonzepten wie bei Drohnen wird diesem Aspekt eine besondere Bedeutung zuteil, da dann am Boden der einzige „Human Factor“ verbleibt. Diese Risiken werden unter dem Begriff „soziale Risiken“ (societal risk) bzw. „externe Risiken Dritter“ (external / third party risk) zusammengefasst. Die derzeitigen Bodenrisikoklassen (Safety) sind, wie dargelegt, in Bezug auf die unterstellte Personendichte recht grob und nur qualitativ fixiert. Ausgehend vom Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG), das bereits heutzutage entsprechend der Empfehlung der ICAO (Annex 14) für die kommerzielle Luftfahrt in der Nähe von schutzwürdigen Einrichtungen sinngemäß anzuwenden ist, liegen detaillierte Risikomodelle vor, die gebietsbezogene Einzel- und Gruppenrisiken quantitativ zu ermitteln gestatten. Es wird empfohlen, derartige „Societal Risk“ Modelle auch für das UTM im Rahmen von Sicherheitsbewertungen (Safety Assessment) einzusetzen und damit Einzel- und Gruppenrisiken für Menschen am Boden durch Drohnenunfälle transparent beziffern und z. B. im Rahmen der Stadtplanung berücksichtigen zu können. Das Einzelrisiko gibt Auskunft darüber, wie hoch die Wahrscheinlichkeit für eine Person ist, die sich ständig an einem Ort (Parzelle, Raster s. u.) aufhält, an den Folgen eines Flugunfalls zu sterben. Das Gruppenrisiko ist als die Wahrscheinlichkeit definiert, mit der n und mehr Personen (Gruppe) gleichzeitig an den Folgen eines Flugunglücks (hier Drohnenabsturz) sterben. Das Gruppenrisiko und damit die Gesamtheit aller möglichen Betroffenen bezieht sich auf den gesamten Untersuchungsraum, hier gemäß Betriebsszenario. Hält sich in dem betrachteten Gebiet niemand auf, ist das dortige Gruppenrisiko per Definition Null. Nachfolgend sind in Abbildung 5 typische Auswertungen für Einzel- und Gruppenrisiko (einschließlich Grenzwertinformationen als gestrichelte Linie) für bemannten Flugbetrieb dargestellt:

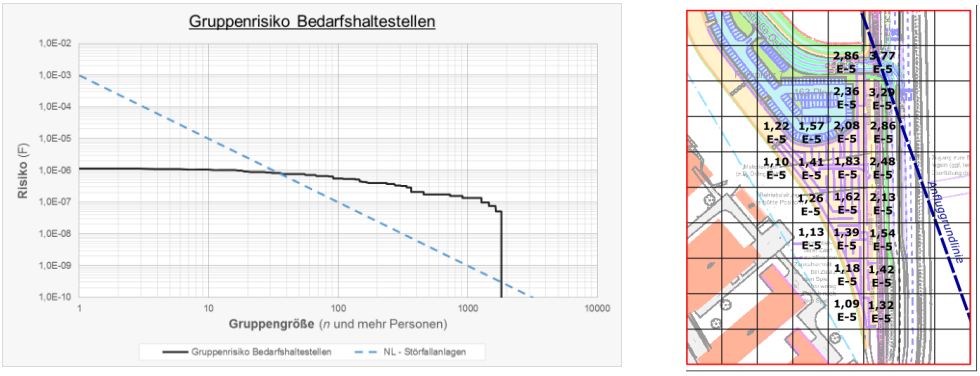


Abbildung 5 Gruppen- (akkumuliert, links) /Einzelrisiko (parzellenweise, rechts) im Bereich von Bedarfshaltestellen durch Flugbetrieb, Stadt Freiburg [Fricke, 2018]

6 Chancen und Risiken für Drohnen im Personenverkehr

Aus Sicht der Verkehrsplanung sind Drohnen, die Personen oder Güter befördern, ein Verkehrsmittel. Sie nutzen als Verkehrsweg den Luftraum und benötigen ausgewiesene Landeplätze. Der Nutzen eines Verkehrsmittels ergibt sich in erster Linie aus dem Zeitaufwand und den Kosten für eine Beförderung sowie der grundsätzlichen Erreichbarkeit des Zieles. Der Zeitaufwand hängt von den Zu- und Abfahrtszeiten zu den Landeplätzen, von der Fluggeschwindigkeit und von den Übergangszeiten an den Landeplätzen ab. Um eine erste Vorstellung von den Reisezeitvorteilen eines Lufttaxis zu bekommen, werden in einer Beispielrechnung die Reisezeiten und Kosten eines zukünftigen Lufttaxis (Drohne vom Typ certified) denjenigen von Pkw und ÖV gegenübergestellt. Diese wird für den Personenverkehr erstellt, lässt sich aber auch auf den Güterverkehr übertragen.

Abbildung 6 zeigt Abschätzungen für Haustür-Haustür Reisezeiten im Personenverkehr für die Verkehrsmittel Pkw (gute, mittlere und schlechte Verbindungsqualität), ÖV (gute Verbindungsqualität)[32] und Lufttaxi. Beim Lufttaxi wird eine Fluggeschwindigkeit von (sicher aktuell noch optimistischen) 100 km/h angenommen. Die Übergangszeiten für Check-In und Check-Out an den beiden Landestellen betrage insgesamt 15 Minuten (siehe Abbildung 7). Die Reisezeiten einer Ortveränderung mit Lufttaxis werden dann maßgeblich von den Zu- und Abgangszeiten zu den Landestellen beeinflusst. Bei einer Landestelle pro 100 km^2, was etwa der Fläche einer Stadt entspricht, ergibt sich an beiden Enden der Reise jeweils ein Zeitaufwand von etwa 15 Minuten. Dieser Aufwand sinkt auf etwa 5 Minuten, wenn die Dichte der Landestellen bei einer Landestelle pro Quadratkilometer läge, was der typischen Dichte von S-Bahnhaltestellen entspricht. Dann können die Reisenden zu Fuß zur Landestelle laufen. Die in Abbildung 7 dargestellten Reisezeitdifferenzen zwischen einem Lufttaxi und einem Pkw zeigen, dass Lufttaxis im Regionalverkehr (Reiseweite 20 bis 100 km) nur dann einen Vorteil bieten, wenn die Dichte bei mindestens einer

[32] Die Reisezeiten für die Qualitätsstufen wurden aus den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN 2008) der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen abgeleitet. Die RIN enthalten für den Pkw-Verkehr und den ÖV sogenannte Stufen der Angebotsqualität (SAQ) für die Luftliniengeschwindigkeit, aus denen sich typische Reisezeiten für unterschiedliche Qualitätsstufen ableiten lassen.

Landestelle pro 10 km^2 liegt. Für nahräumige Ortsveränderungen ist eine Dichte von einer Landestelle pro 1 km^2 erforderlich.

In Abbildung 8 werden die Reisezeitvorteile des Lufttaxis in maximale Preise umgerechnet, die eine Beförderung mit dem Lufttaxi kosten darf. Der maximale Preis wird dabei sehr vereinfacht wie folgt abschätzt: Der Preis einer Pkw-Fahrt wird um den Preisvorteil durch den Reisezeitgewinn ergänzt, der sich aus Annahmen zur Zahlungsbereitschaft (Value of Time) ergibt. Im Straßenverkehr liegt der Value of Time bei etwa 5 bis 10 €/h[33], er kann aber bei wohlhabenden Personen oder bei Geschäftsreisen deutlich höher liegen. Für normale Reisende mit einem Value of Time von 10 €/h wäre ein Lufttaxi ab 0,5 €/km attraktiv. Für Reisende mit einem Value of Time von 100 €/h[34], die einen privaten Pkw nutzen, wäre ein Beförderungspreis von etwa 2,0 €/km konkurrenzfähig. Nutzer eines Taxis, das etwa 2,0 €/km kostet, würden auch einen höheren Beförderungspreis von etwa 4,0 €/km zahlen. Zum Vergleich: Ein Hubschrauberflug kostet derzeit bei einer Besetzung mit 4 Personen pro Person etwa 20€/km[35]. Bei größeren Entfernungen müssten die Kilometerpreise sinken oder die Fluggeschwindigkeit des Lufttaxis steigen, da der Reisezeitvorteil eines Lufttaxis mit einer Fluggeschwindigkeit von 100 km/h abnimmt.

Die Abschätzungen zeigen, dass Lufttaxis in einer ersten Stufe – ähnlich wie die heutigen Helikopter – vor allem für zahlungskräftige Reisende attraktiv wären. Dazu müssen die Landestellen in der Nähe der Zielorte liegen. In einer Stadt mit 500.000 Einwohnern kann man dann bei einer Kapazität der Lufttaxis von 5 Plätzen etwa 1.000 Flüge pro Tag erwarten, die zu 2.000 Starts- und Landungen führen. Bei 10 Landestellen wären das etwa 200 Flugbewegungen pro Landestelle am Tag und bis zu 20 Flugbewegungen in der Stunde. Das liegt bereits in der gleichen Größenordnung wie der Betrieb an einem mittelgroßen Flugplatz.

Bei niedrigeren Preisen wird die Nachfrage nach Lufttaxis deutlich steigen, so dass rund 5.000 Flüge an einem Tag in einer Großstadt realistisch erscheinen. Ein Stadtbewohner wird dann immer 1 bis 5 Lufttaxis gleichzeitig in der Luft sehen.

[33] Axhausen, Ehreke, Glemser, Hess, Jödden, Nagel, Sauer Weis (2014). Ermittlung von Bewertungsansätzen für Reisezeiten und Zuverlässigkeit auf der Basis eines Modells für modale Verlagerungen im nicht-gewerblichen und gewerblichen Personenverkehr für die Bundesverkehrswegeplanung. ETH Zürich.

[34] Der Value of Time bei etwa 100 €/h lässt sich am Beispiel einer Person veranschaulichen, die von einem Flughafen in ein Stadtgebiet anstelle öffentlicher Verkehrsmittel (ca. 5 €, 60 Minuten Reisezeit) ein Taxi wählt (ca. 55 €, 30 Minuten Reisezeit).

[35] Siehe z.B. http://www.helikopterfliegen.de/fliegen/preise.html: Preis für einen Helikopter mit 4 Fluggästen 1.200 €/h.

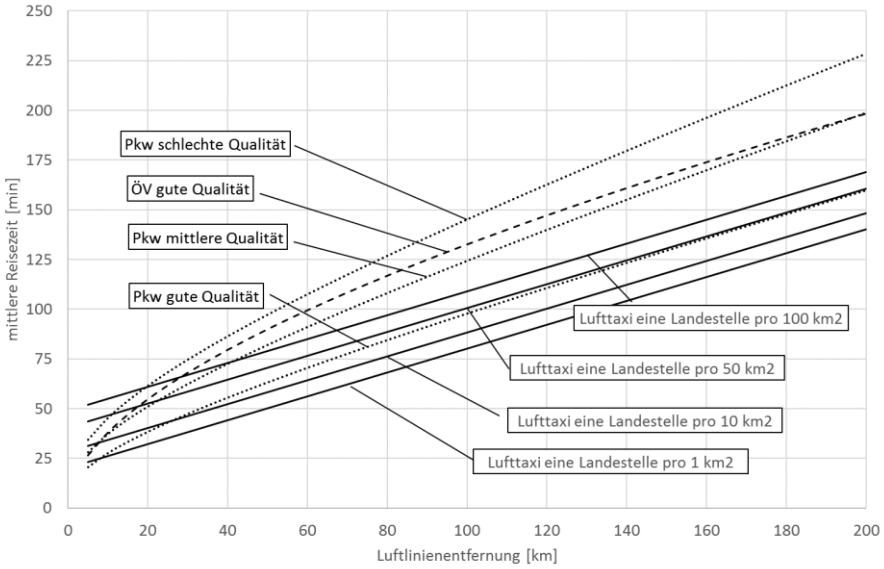


Abbildung 6 Haustür-Haustür Reisezeitvergleich im Personenverkehr für die Verkehrsmittel Pkw (gute, mittlere und schlechte Verbindungsqualität), ÖV (gute Verbindungsqualität) und Lufttaxis Check-In und Check-Out-Zeit 15 Minuten) mit unterschiedlichen Dichten der Landestellen und Fluggeschwindigkeiten, konstante Geschwindigkeit unterstellt

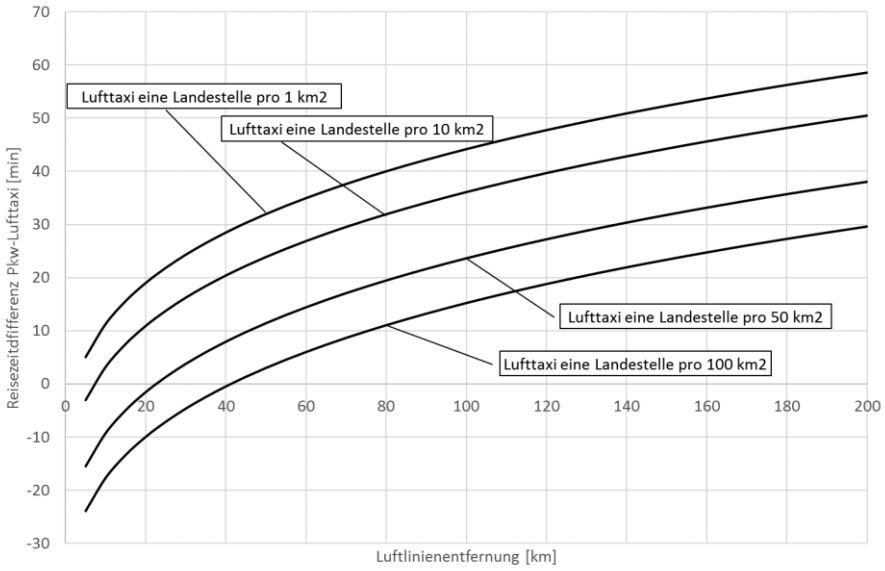


Abbildung 7 Reisezeitvorteile für ein Lufttaxi mit Fluggeschwindigkeit 100 km/h bei einer Check-In und Check-Out-Zeit von 15 Minuten, verglichen mit einem Pkw bei einer mittleren Angebotsqualität, die für Verdichtungsräume in der Hauptverkehrszeit typisch ist

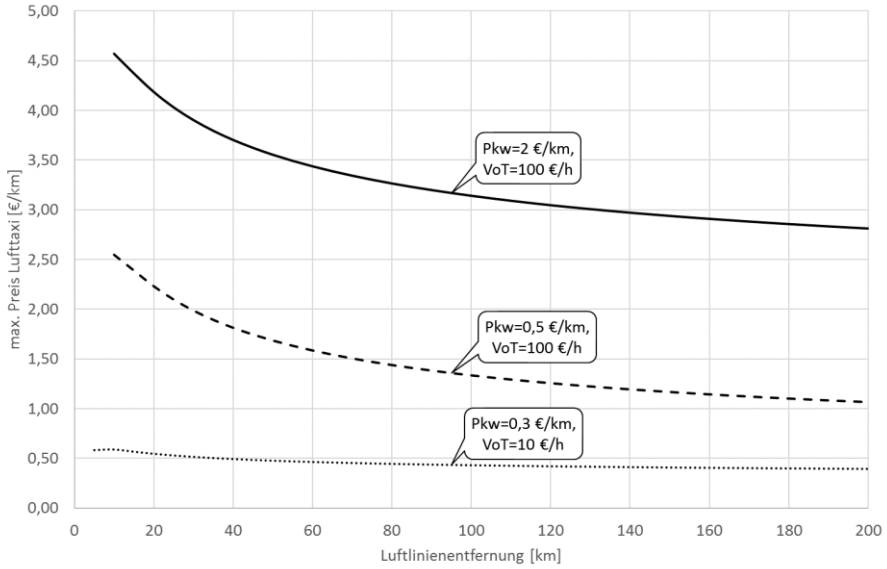


Abbildung 8 Abschätzung der maximal akzeptablen Preise pro Kilometer für ein Lufttaxi mit Fluggeschwindigkeit 100 km/h . Es sind drei Fälle dargestellt:
(1) Reisende mit einem Taxi (2,0 €/km) und einem sehr hohen Value of Time (100 €/h).
(2) Reisende mit Oberklassefahrzeug (0,5 €/km) und einem sehr hohen Value of Time (100 €/h).
(3) Reisende mit Mittelklassefahrzeug (0,3 €/km) und einem üblichen hohen Value of Time (10 €/h).
Weitere Annahmen: Reisezeitdifferenz für den Fall mittlere Pkw-Qualität, Check-In und Check-Out-Zeit 15 Minuten und eine Landestelle pro km^2.

7 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Drohnen tragen unstrittig ein enormes Innovationsportal für den Transport-, Logistik- als auch den Freizeitbereich in sich. Innerhalb der kommenden Jahre werden sich die Geschäftsideen in den vorgestellten Sektoren mit einer beachtlichen Wirtschaftsleistung vervielfachen. Hieraus leiten sich gesellschaftlich umfassende Regulierungsaufgaben zu den Themen Safety (und damit Capacity), Security und Privacy ab, da einerseits die Anzahl von Fluggeräten enorm wachsen wird, andererseits zahlreiche Dritte sich durch diese teils massiv gestört bzw. in ihren Rechten verletzt sehen mögen. Die EU hat in diesem Jahr 2018 mit der Novellierung der EU Grundverordnung (Basic Regulation) zur Zertifizierung von Drohnen insofern den richtigen Schritt getan: Nunmehr unterliegen alle Drohnen unabhängig von Größe und sonstigen Eigenschaften der Zuständigkeit der EASA und folgen somit einem einheitlichen europäischen Standard. Unbenommen davon bleiben zahlreiche Details bezüglich der Entwicklung und des Betriebs von Drohnen offen. Deren zielgerichtete Klärung ist eine wesentliche Voraussetzung, um die sich dynamisch entwickelnden Urban Air Mobility Konzepte in europäischen Städten mit verschiedenen Synergien auch zur

technologischen Entwicklung im Bereich des automatisierten Fahrens im landgebundenen Verkehr zu begleiten. Die internationalen Aktivitäten in diesem Bereich sollten daher durch den Bundesminister wie folgt begleitet werden:

1. Notwendig ist ein gezieltes, deutlich sichtbareres Engagement des BMVI bei der Europäischen Agentur für Flugsicherheit EASA im nun laufenden Umsetzungsprozess der neuen EU Grundverordnung (Basic Regulation), um sowohl im Bereich „kleiner“ Drohnen (Kategorien open und specific) die richtigen Impulse bei der weiterschreitenden Ausgestaltung der technischen und betrieblichen Parameter zu setzen (Einhaltung von Sicherheitszielen wie maximale kinetische Energie je Betriebskategorie), sowie für „große“ Drohnen (Kategorie certified) den erst im Aufbau befindlichen Zulassungsprozess (Entwicklung einer Certification Specification, CS für Drohnen) als auch die Implementierung des Drohnen Verkehrsmanagement System (UTM) intensiv zu beteiligen. An seiner Ausgestaltung wird maßgeblich der Markteinführungszeitrahmen für u.a. Lufttaxis hängen.
2. Speziell für die kleinen Drohnen ist in Bezug auf die Gefährdung Dritter die aktuelle Klassifizierungsgrundlage zu verifizieren, aktuelle Grenzwerte für maximale Startmasse (MTOM) und Operationsgeschwindigkeit (zur Ableitung maxi-

maler kinetischer Energien) sowie Antriebsart (nur elektrisch) sind auf Angemessenheit (beidseits konservativ und optimistisch) zu überprüfen, gesellschaftlich akzeptierte Sicherheitszielwerte für den seitens EASA proklamierten risikobasierten Zertifizierungsprozess (wann ist sicher auch gefühlt sicher?) fehlen bisher. Soziologische Untersuchungen sind hierfür angezeigt. Mit Erlass der neuen EU Grundverordnung mag dann ggf. die Fortschreibung der deutschen, gerade erst in Kraft getretenen Drohnenverordnung obsolet werden. Vor- und Nachteile einer nationalen Richtlinie sollten erörtert und abgewogen werden.

3. Drohnen werden auf absehbare Sicht nicht autonom, sondern ferngesteuert operieren. Damit kommt der Pilotenkompetenz eine bedeutende Rolle zu: Die Ausgestaltung der Kompetenzanforderungen und des Prüfwesens inklusive Auditierung (Verfahren zur Überprüfung der Fähigkeiten des Piloten, sog. refresher/recurrent checks) bedürfen der deutlich präziseren Ausgestaltung und Verifikation ggü. den gesteckten Zielen in Safety (Flugverfahren, Bedienprozesse), Security (Zuverlässigkeitsüberprüfung) und Privacy (Respektieren von Vorschriften zum Schutz der Persönlichkeit und Privatsphäre bis hin zum Naturschutz).
4. Drohnen sind überwiegend kleine Flugobjekte und damit schwer zu orten. Im Bereich Security, Privacy sowie des Schutzes des öffentlichen Raums stellt dies eine enorme Herausforderung dar, die bisher im Wesentlichen mit Hilfe von Geofencing von/für Drohnen adressiert werden soll. Die durch Geofencing zu schützenden Lufträume müssen nach EU Recht auf nationaler Ebene und damit in Deutschland föderal festgelegt und sollten über webbasierte Plattformen oder Apps publiziert werden. Eine Rückkopplung zur Zulassung der Drohnen stellt hierbei eine wichtige Säule der Etablierung von Geofencing-Systemen dar, um einen verlässlichen Abgleich (Upload) der entsprechenden Schutzgebiete (Verbots- und Beschränkungsgebiete) in den bordseitigen Navigationssystemen zu gewährleisten. Hierzu müssen einheitliche Standards, Kartensysteme und Datenbanken geschaffen werden, damit Hersteller die Geofences in den Flight Controllern der Drohnen implementieren können.
5. Zur Gewährleistung von Security und Privacy bei Drohnenbetrieb ist die avisierte Registrierungspflicht von Betreibern und Drohnen mit einer Startmasse ab aktuell 250 g ein guter Weg. Das elektronische Identifizierungssystem (e-ID) muss hierfür allerdings effizient und betrugssicher implementiert werden, um im Falle strafrechtlicher Verfolgung von vorsätzlichem Missbrauch von Drohnen auch wirksam zu sein.
6. Der Regelung von Überflugrechten wird eine besondere Bedeutung beigemessen, da diese Planungssicherheit für die Anbieter der neuen Geschäftsmodelle schafft und gleichzeitig die Wahrung von Persönlichkeitsschutzrechten Dritter (Privacy) sowie Begrenzung von Externalitäten gewährleistet. Vor- und Nachteile verschiedener Optionen sind dabei sorgfältig abzuwägen. Stark regulierte Verfahren zur Vergabe von Überflugrechten in Anlehnung an die etablierten Planfeststellungsverfahren bergen das Risiko langwieriger Genehmigungspro-

zesse, auf der anderen Seite aber auch die Chance einer tatsächlichen Implementierung von Flugrouten. Marktnahe Lösungen schaffen Raum für Innovationen, bergen aber die Gefahr, dass Geschäftsmodelle und Flugrouten durch einzelne Akteure blockiert und damit verhindert werden. Notwendig ist in jedem Fall die Regelung der Freigabe von Flugrouten, -zeiten und –höhen, die dann in der Luftverkehrsordnung (LuftVO, aktueller Stand 2017) niederzulegen wäre.

7. Das durch die EASA eingeführte Specific Operations Risk Assessment (SORA) ist mittels Konkretisierung der zu erreichenden Sicherheitszielwerte weiterzuentwickeln. Wesentliche Gefahrenursachen sind zu parametrisieren (Wetter, Sichtweite, Feuchtigkeit, Außentemperatur, usw.). Dabei darf nicht vergessen werden, dass wir bereits im heutigen ATM System nur über stichpunkthafte Sicherheitsgrenzwerte verfügen, die zudem bereits derart „hoch“ liegen, dass ihr Nachweis nur sehr aufwändig möglich ist[36]. Es geht darum, aktiv daran mitzuwirken, ATM Sicherheitsberechnungen zu standardisieren und damit für Nutzer und Entwickler die Investitionsrisiken in neue Geschäftsmodelle und Drohnen verlässlich abschätzen zu können. Sicherheitsgrenzwerte beeinflussen das prozedural Machbare in Qualität und Kapazität eines Verkehrssystems. Die Sicherheitsbewertung als solche sollte auch im Lichte des geplanten Einsatzortes differenzieren, von ländlichem Raum über suburban bis hin zum Ballungszentrum/Mega-Airport in Bezug auf Verkehrsdichte, -heterogenität und resultierende Betroffenheit in der Luft (andere, konventionelle Luftfahrzeuge) als auch am Boden in Form von Risiken Dritter (sog. Societal Risk von Anwohnern). Auch für derartige externe Risiken bedarf es unbedingt belastbarer Grenzwerte und Berechnungsstandards.
8. SORA berücksichtigt bisher weder Security- noch Privacy-Gefahren. Es wird empfohlen, diese Aspekte durch eine erweiterte Gefahrenliste aufzunehmen, um ein ganzheitliches Bewertungsbild bei der potenziellen Genehmigung eines „specific business case“ zugrunde zu legen.
9. Die Überwachung sowohl der Genehmigungsaspekte (Missionszulassung) also auch die operative Durchführung der Drohnenüberwachung sollte in Entsprechung heutiger Kontrolle des Instrumentenflugverkehrs (IFR) über eine zentrale Zuständigkeit mit entsprechend hohem Automatisierungsgrad konzipiert und implementiert werden. Nur so lassen sich die erwarteten großen Verkehrsmengen sicher handhaben. Neben den in Deutschland etablierten Institutionen bieten sich auch UTM Serviceanbieter mit hinreichender Erfahrung in der Fernüberwachung an. Gemäß EU-Verordnung zum Erbringen von Flugsicherungsdienstleistungen ist den (deutschen) Bewerbern europäische Wettbewerbsfä-

[36] Als Beispiel sei die zulässige fatale Unfallhäufigkeit im Endanflug eines Präzisions-Instrumentenlandeanflugs (1 zu 10 Millionen Anflüge) oder jene während des Rollens auf Flugbetriebsflächen hochmoderner großer Flughäfen (1 zu 100 Millionen Operationen) genannt.

higkeit anzutragen. Das zentralisierte Luftraummanagement sollte zudem auf festgelegten Operationsbereichen je Drohnenkategorie (Flughöhe-Reichweite Diagramm) aufsetzen, die seitens der Hersteller verlässlich zuzusichern sind. Besonders in einem komplexen urbanen Operationsraum ist das Einhalten dieser so fixierten Betriebsgrenzen unabdingbar. Der Betrieb einer Drohne außerhalb seines Operationsbereiches sollte als eine ernsthafte Störung angesehen und damit entsprechend in den gesetzlichen Grundlagen reflektiert werden.

10. Besonders in städtischen Gebieten können aufgrund von Satelliten-Abschattung, Empfängen ohne Sichtverbindung, Signalbeugung oder Mehrwege-Effekten relevante Fehler in der Positionierung entstehen. Basierend auf einem 3D-Modell der Gebäude und Vegetation im Operationsraum sollte infolge eine GNSS-Geometriekarte erstellt werden, die in den Flugplanungsprozess zu integrieren ist. Hierdurch können bereits im Planungsprozess degradierte GNSS-Umgebungen gemieden werden. Die Herausforderung besteht also darin, eine kontinuierlich gute Geo-Referenzierung unabhängig von installierbarer Sensorgröße zu gewährleisten.
11. Für ein effizientes Drohnen-Luftraummanagement (UTM) besteht Handlungsbedarf in der Anpassung der Luftraumstruktur im typischen Drohnenoperationsgebiet, dem Very Low Level (VLL)-Luftraum (< 150 m über Grund), der bisher über Ballungszentren entweder unkontrollierter Luftraum (ICAO Typ G) ist oder - in der Regel nur sehr partiell - in den Bereich einer Kontrollzone (ICAO Typ D) eines stadtnahen / städtischen Flughafens fällt.
12. Um Bau- und Zulassungsprozesse von Drohnen unternehmerisch wirtschaftlich zeitlich effizient zu gestalten, wird die Einrichtung kombinierter Test-/Bau- und Zulassungszentren, vorzugsweise unter der Verantwortung des Luftfahrtbundesamtes (LBA) empfohlen. Pate mag das in der Schweiz entwickelte Konzept eines „Drone Pole“ sein, in dem diese verschiedenen Akteure „unter einem Dach“ agieren können. Diese insbesondere für die Kategorie specific und certified relevante Aufgabe sollte zur Gewährleistung bundesweit einheitlicher Ausgestaltung in der Verantwortung des Bundes liegen. Diese Zentren sollten solange über abgestimmte Zertifizierungskataloge verfügen, wie noch keine Certification Specifications (CS) für Drohnen vorliegen.
13. Die Landesentwicklungsplanung (LEP) in Abstimmung mit den nachgeordneten Planungsebenen sollte weitsichtig die Einrichtung von Drohnen Start-/Landeplätzen prüfen, um Geschäftsmodelle im Bereich der urbanen Mobilität zu ermöglichen. Entsprechend unterstützende Fachplanungsstandards sollten durch den Bundesminister im Rahmen von Panelarbeiten bei EASA und ICAO entwickelt und zeitnah umgesetzt werden (analog EASA CS ADR-DSN oder ICAO Annex 14 zu „Heliports“).
14. Eine enge Verzahnung der Aktivitäten zur Fortschreibung der Rahmenbedingungen im Luft- und im bodengebundenen Verkehr wird empfohlen, um Synergiepotenziale zwischen einer verstärkten Automatisierung in allen Verkehrsträ-

gern auszuschöpfen, die auch die passfähige Ausgestaltung der 4G/5G Netze einbeziehen und der Industrie einen verlässlichen Rahmen für die Entwicklung von Technologien und Geschäftsmodellen zu gewährleisten. Die gesellschaftliche Akzeptanz wird nach Sicht des Beirats durch die aktuellen Entwicklungen des automatisierten Fahrens am Boden begleitet: In den nächsten 10 Jahren werden wir vollautomatisiertes Fahren (sog. VDA Stufe 4 und 5) zumindest vereinzelt erleben, so dass die prinzipiellen Voraussetzungen für ein führerloses Fliegen von Cargo mit heutigem großen konventionellem Fluggerät auch gesellschaftlich gegeben sein könnten. Diese mittel- bis langfristigen Aspekte sollten unbedingt bereits heute in den o.g. CS und der weiterführenden Ausarbeitung von GM (Guidance Material) und AMC (Acceptable Means of Compliance) Berücksichtigung finden, um auch hier die Entwicklungsbetriebe in die Lage zu versetzen, verlässlich Zulassungsrisiken abschätzen zu können. Entsprechendes Engagement in der internationalen Kommissionsarbeit ist hierzu unabdingbar.

15. Pilotvorhaben in deutschen Städten wie jene der EU UAM Initiative sollten im Lichte der vorgenannten Empfehlungen erfolgen: Dies umfasst die multimodale Integration von Drohnen in den Stadtverkehr, die Schaffung von adäquater Verkehrs-, Kommunikations- und Überwachungsinfrastruktur (multimodale Erfassung von Objekten durch jeden Luftverkehrsteilnehmer), den Umgang mit Überflugrechten, usw. Wenn auch der ferngesteuerte bzw. vollautomatische Lufttransport von Menschen wohl erst längerfristig zu erwarten ist, sollten diesbezügliche Zulassungs- und Gestaltungsmerkmale aus gleichem Grunde intensiv mitentwickelt und national bei der EASA begleitet werden. Diese Luftfahrzeug-Nutzer-Kategorie wird neben dem Aspekt der Autonomie im Führen auch aus energetischer Sicht dem Trend der Elektromobilität zumindest partiell folgen. So plädiert der Beirat für die Entwicklung ergänzender spezifischer Vorgaben für Akkus, Antriebsart und vertikalem als auch lateralem Operationsgebiet von Flugtaxis (Luftraumstruktur). Diese Vorgaben sind in Abhängigkeit vom Kenntnisnachweis des jeweiligen Nutzers zu differenzieren, vom Piloten mit reduziertem Aufgabengebiet bis hin zum menschlichen Monitor eines vollautomatischen Flugsteuerungs- und –regelungssystems. Damit soll den europäischen, speziell auch deutschen Entwicklern von Flug- und Geschäftsmodellen die Möglichkeit gegeben werden, ihre Modelle hierzulande zu entwickeln und zu testen, so dass sie nicht darauf angewiesen sind, diese Entwicklungen in Länder wie Neuseeland oder die Vereinigten Emirate auszulagern, wie derzeit beobachtet werden kann. Gefördert werden sollten dabei sämtliche Einsatzzwecke einschließlich des Personenverkehrs in Form von Lufttaxis, um in diesem frühen technologischen Entwicklungsstadium von Drohnen größtmöglichen Raum für Innovationen zu ermöglichen.

Abkürzungsverzeichnis

ACI	Airport Council International
AIP	Aeronautical Imformation Publication (Luftfahrthandbuch des Landes)
AIS	Aeronautical Information Service
AMC	Acceptable Means of Compliance (Teil der CS, Äquivalenzanforderung)
ANSP	Air Navigation Service Provider (Flugsicherungsdienstleister)
ATM	Air Traffic Management
BAF	Bundesaufsichtamt für Flugsicherung
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BFU	Bundesstelle für Flugunfalluntersuchung
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BVLOS	Beyond Visual Line of Sight
CVFR	Controlled Visual Flight Rules
DAA	Detect and Avoid (Erfassen und Kollisionsverhütung)
DFS	Deutsche Flugsicherung GmbH
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
Drohnen	Unmanned Aircraft Systems (UAS)
EASA	European Aviation Safety Association (Europäische Agentur für Flugsicherheit)
ELOS	Equivalent Level of Safety
FAA	Federal Aviation Administration
FlUUG	Flugunfalluntersuchungsgesetzes
GBO	Grundbuchordnung
GCS	Ground Control Station
GfR	DLR GfR mbH – Deutsche Gesellschaft für Raumfahrtanwendungen
GM	Guidance Material (Teil der CS, Erläuterungsdokument zur CS Umsetzung)
GND	Gemeinsame Normdatei
GNSS	Global Navigation Satellite Systems (GPS, Galileo, GLONASS, …)
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules
JARUS	Joint Authorities for the Rulemaking of Unmanned Systems

KEP	Kurier-, Express- und Paketdienste
LBA	Luftfahrtbundesamt
LEP	Landesentwicklungsplan
LFZ	Luftfahrzeug
LOS	Line-Of-Sight (optischer Horizont)
LUC/CUC	Light/Certified UA Operator Certificate
LuftVO	Luftverkehrsordnung
MEMS	Micro Electro Mechanical System (System ultra-miniaturisierter Geräte)
MTOM	Maximum Take Off Mass
NfL	Nachrichten für Luftfahrer (veröffentlichtes Meldungs-/Berichtwesen der DFS)
NPA	Notice of Proposed Amendment
OEM	Original Equipment Manufacturer
RBO	Risk-based oversight
RMZ	Radio Mandatory Zone
RPA	Remotely Piloted Aircraft
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RPASP	Remotely Piloted Aircraft Systems Panel
RTK	Real-Time Kinematic (Echtzeit-Kinematik)
SAIL	Specific Assurance and Integrity Level
SARP	Standards and Recommended Practices
SESAR	Single European Sky ATM Research Programme
SIGMET	Significant Meteorological Phenomena (sicherheitsrelevante Wettererscheinungen)
TCAS	Traffic Collision Avoidance System (LFZ-Kollisionsverhütungssystem)
TLS	Target Level of Safety
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
UHF	Ultra High Frequency (300 MHz bis 3 GHz)
UTM	UAS (Drohnen) Traffic Management System (Verkehrsmanagement)
VDA	Verband der Automobilindustrie
VFR	Visual Flight Rules, Sichtflugregeln
VHF	Very High Frequency
VLL	Very Low Level Airspace, < 150 m

Mitglieder des Wissenschaftlichen Beirats
beim Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur

Prof. Dr.-Ing. Hartmut Fricke (Vorsitzender)	Dresden
Prof. Dr.-Ing. Markus Friedrich	Stuttgart
Prof. Dr. Regine Gerike	Dresden
Prof. Dr. Hans-Dietrich Haasis	Bremen
Prof. Dr. Günter Knieps	Freiburg
Prof. Dr. Dr. h.c. Andreas Knorr	Speyer
Prof. Dr. Kay Mitusch	Karlsruhe
Prof. Dr. Stefan Oeter	Hamburg
Prof. Dr. Dr. Dr. h.c. Franz Josef Radermacher	Ulm
Prof. Dr. Gernot Sieg	Münster
Prof. Dr. Wolfgang Stölzle	St. Gallen
Prof. Dr. Peter Vortisch	Karlsruhe
Prof. Dr. rer. nat. Hermann Winner	Darmstadt
Prof. Dr. Alexander Eisenkopf	Friedrichshafen

Impressum

Herausgeber
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Weitere Adressangeben

Stand
April 2019

Redaktion
Wissenschaftlicher Beirat
beim Bundesministerium Verkehr und digitale Infrastruktur

Weitere Informationen im Internet unter
www.bmvi.de

Diese Broschüre ist Teil der Öffentlichkeitsarbeit der Bundesregierung. Sie wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt.