Drohnen und deren Einsatz in der Arbeitswelt

Viktorio Malisa
FO Industrie 4.0, AUVA HS Wien

OUTDOOR-DROHNEN

Einleitung

Am 1. Januar 2021 sind neue EU-Vorschriften in Kraft getreten, die den Drohnen-Luftverkehr in allen EU-Mitgliedsstaaten vereinheitlichen. Gleichzeitig wird für einzelne bisherige nationale Bestimmungen eine Übergangsfrist bis zum 30. Juni 2022 eingeräumt.

Es wird geschätzt, dass in ganz Österreich derzeit rund 100.000 Drohnen im Einsatz sind. Die größte Nutzergruppe verwendet Drohnen mit einem Gesamtgewicht von weniger als 250 g (inklusive der integrierten Kamera für Video- und Fotoaufnahmen). Das Jahr 2021 hat in der EU für Drohnenhersteller, -anwender und -Piloten große Veränderungen mit sich gebracht. Die EU-Verordnungen EU 947/2019 [7] und EU 945/2019 [8] regeln den Betrieb von unbemannten Fluggeräten in Anlehnung an das Luftfahrtrecht. Drohnen werden nun in neue Kategorien eingeteilt, abhängig davon, welche Risiken sie in der Luft und am Boden in Bezug auf mögliche Kollisionen mit den Menschen bzw. in Bezug auf Gefahren für kritische Infrastruktur sowie für andere Flugobjekte darstellen. Mit den EU-Verordnungen wird die zulässige Flughöhe und der einzuhaltende Abstand zu Menschen geändert, eine Registrierungspflicht eingeführt und neue Vorschriften für die Ausbildung von Drohnenpiloten erlassen.

Laut EU-Verordnung, siehe [6] Abs. 18, wird der Begriff „Luftfahrzeug“ definiert als *„jede Maschine, die sich in der Atmosphäre zufolge von Reaktionen der Luft, ausgenommen solchen gegen die Erdoberfläche, halten kann“.*

In der Verbindung mit Drohnen wird auch der Begriff Unbemannte Luftfahrtsysteme (ULS) (engl.: Unmanned Aircraft System – UAS) verwendet: Es handelt sich dabei um „unbemannte Fluggeräte einschließlich ihrer Kontrollstation, die nicht zu Zwecken des Sports oder der Freizeitgestaltung betrieben werden“ [1]. Wenn die Drohnen den Zweck des Sports und der Freizeitgestaltung haben, sind sie Modellflugzeuge.

Änderungen am Drohnenbetrieb

Die neuen EU-Verordnungen, die das Fliegen mit Drohnen in der EU einheitlich regeln, hätten schon am 1. Juli 2020 in Kraft treten sollen. Der Start wurde aufgrund der Corona-Pandemie auf den 1. Januar 2021 verschoben. Übergangsregelungen bis 2022 und darüber hinaus stellen sicher, dass bereits gekaufte Drohnen weiterhin verwendet werden dürfen. Weitere Informationen zu den neuen Regeln und Übergangsbestimmungen finden Sie auf der Website der Austro Control unter dem

Malisa, V. 2021. „Drohnen und deren Einsatz in der Arbeitswelt“,
Online Konferenz der IVSS (AUVA, DGUV und SUVA). Wien, 30.06.2021

Titel "Drone Space" [9]. Austro Control hat auch eine gleichnamige App veröffentlicht, die Drohnenpiloten zeigt, wo sie fliegen können und ob eine Bewilligung für Drohnen erforderlich ist.

Darüber hinaus wurden rechtliche Eckpunkte in folgenden Bereichen festgelegt:

- Registrierung der Betreiber in einer Datenbank samt Registrierungsnummer, die am Fluggerät anzubringen ist
- Geo-Sensibilisierung – Warnfunktion bei potenzieller Verletzung von Luftraumgrenzen
- Direkte Fernidentifikation mittels Luftfahrzeug-Positionsverfolgung
- Einsatz elektronischer Echtzeitkommunikation
- Ausbildung bzw. Nachweis von Kenntnissen (Fernpilot) per Online-Test: Wer Drohnen über 250 g Gesamtgewicht pilotieren will, muss – zusätzlich zur Registrierung – einen Online-Lehrgang mit anschließender Online-Prüfung (40 Multiple-Choice-Fragen) absolvieren. Für Drohnen der Klasse C2 (mehr als 900 Gramm) ist überdies eine Theorieprüfung mit 30 Multiple-Choice-Fragen verpflichtend. Sowohl der Lehrgang als auch die Theorieprüfung können bei Austro Control absolviert werden. [9]
- Festlegung von „No-Drone-Zones“ durch die Mitgliedstaaten: Definition von Gebieten, in denen absolut keine Drohnen zugelassen werden (z. B. Flughäfen und deren Umgebung)

Nach neuen Vorschriften wird der Betrieb von Drohnen in drei Kategorien eingeordnet: „open“, „specific“ oder „certified“. Parallel zur Festlegung der Betriebskategorien müssen Drohnen vom Hersteller mit einer CE-Kennzeichnung versehen und mit Klassen-Identifizierungskennzeichen, s. Bild 1, in die Klassen C0 bis C4 eingeteilt werden. Die für den typischen Anwender von Drohnen infrage kommende Betriebskategorie „open“ wird weiter in drei Unterkategorien aufgeteilt: A1, A2 und A3. Für alle Flüge in der Kategorie „open“ muss ohne technische Hilfsmittel ein ununterbrochener Sichtkontakt zum Fluggerät gegeben sein. [9]

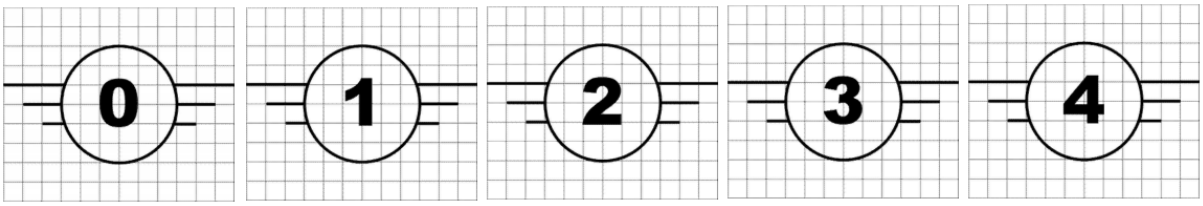

Bild 1: Klassen-Identifizierungskennzeichen für Drohnen, Klasse C0 bis C4 [8]

Moderne Drohnen verfügen über die sogenannte First-Person-View (FPV)-Funktion wobei ein Video der auf der Drohne angebrachten Kamera direkt auf das Display des Controllers übertragen wird. Der Pilot kann so das Flugobjekt steuern, als ob er selbst mit der Drohne mitfliegen würde. Wenn das Video auf einer VR-Brille (Virtual Reality Brille) übertragen wird, spricht man von einem Kameraflug oder einem Immersionsflug. Die Steuerung über eine VR-Brille gilt jedoch nicht als Sichtkontakt, und in diesem Fall wird eine zweite Person (genannt „Spotter“) benötigt, um das Flugobjekt zu beobachten und im Notfall in die Steuerung einzugreifen.

Voraussetzung zum sicheren Betrieb von unbemannten Luftfahrzeugsystemen ist die Qualifikation des Fernpiloten. Die Norm DIN 5452-2 „Luft- und Raumfahrt - Unbemannte Luftfahrzeugsysteme (UAS) - Teil 2: Anforderungen an Fernpiloten“ [5] gilt für Flüge innerhalb und außerhalb der Sichtweite des Fernpiloten. Möglich sind diese nur mit Ausnahmegenehmigung und unter strengen Auflagen – und nur mit einem unbemannten Luftfahrzeug, dessen Gewicht unter 25 kg liegt.

Mit dem Begriff Geofencing bezeichnet man virtuelle Grenzen in einem geografischen Gebiet. Diese virtuelle Grenze kann mit einer Softwareanwendung gekoppelt werden und mit Hilfe von GPS-, RFID-, WLAN- oder Mobilfunkdaten können verschiedene vorprogrammierte Funktionen ausgelöst werden. So werden beispielsweise virtuelle Sperrzonen um Flugverbotszonen eingerichtet, so dass die in Drohnen eingebaute Funktion mittels GPS-Ortung automatisch verhindert, dass das Luftfahrzeug abhebt oder in die Sperrzone fliegt. Eine ähnliche Funktion haben virtuelle Sicherheitswände bei Industrierobotern, mobilen Robotern oder fahrerlosen Transportsystemen, die das Betreten bestimmter Räume verhindern. Bei den Indoor-Anwendungen sollen ähnliche virtuelle Wände Flugkorridore bestimmen und das Luftfahrzeug daran hindern, in bestimmte Sperrräume einzudringen.

Spezifikation	**C0**	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**
Gewicht	< 250 g	250 bis < 900g oder Energie < 80 J	900 g bis <4kg	4kg bis <25kg	> 25 kg
Max. Geschwindigkeit	19 m/s	19 m/s			
Fernidentifizier-ung notwendig	nein	ja	ja	ja	nein
max. Flughöhe	120 Meter	120 Meter regelbares Höhenlimit	120 Meter oder regelbares Höhenlimit	120 Meter oder regelbares Höhenlimit	
Geo-Sensibilisierung	nein	ja	ja	ja	nein
Zulässige Manöver in der offenen Kategorie	A1 Überflug unbeteiligter Personen erlaubt	A1 Abstand von unbeteiligten Personen mind. 30 m	A2 Abstand von unbeteiligten Personen mind. 5 m in Low-Speed Mode, ansonsten mind. 30m		
			A3 mindestens 150 Meter Abstand zu Wohn-, Gewerbe-, Industrie- oder Erholungsgebieten		
Besonderheiten zur Klasse	Funktion "Follow-me" bis 50 m		„Low-Speed Mode“ (max. 3 m/s (10,8 km/h) erforderlich)	Abmessung geringer als 3 Meter	Keine automatische Flugfunktion

Tab. 1: Drohnen-Klassifizierung nach EU-Verordnungen gültig seit 1. Januar 2021

Beispiele für Flugbetrieb im Außenbereich

Derzeit findet man in mehreren Ländern Drohnen mit Flügeln im Einsatz. In afrikanischen Ländern (Ghana, Nigeria, Kamerun, und viele mehr) werden diese zum Beispiel für den Transport von Medikamenten aus einem Verteilerzentrum zu den Spitälern verwendet. Eine solche Drohne wird von zwei kleinen Propellern elektrisch angetrieben und hat eine Reichweite von 160 Kilometern.

Aufgrund der Tatsache, dass öffentliche Verkehrsmittel in diesen Ländern meist nicht gut ausgebaut sind, ist die Lieferung von dringend benötigten Waren in entlegene Regionen mit unbemannten Luftfahrzeugen besonders effektiv. Ein Luftfahrzeug benötigt vollbeladen viel Energie für den Start bzw. um die Flughöhe zu erreichen. Deshalb werden zum Abheben fix installierte und an die Stromleitung angeschlossene Abschussrampen genutzt. Die Ladung wird anhand der GPS-Koordinaten automatisch über der Lieferadresse abgeworfen und die Drohne fliegt ohne Zwischenlandung zurück zum Startpunkt. Anstelle einer Landebahn kann eine Drohne sehr effizient über Fangnetze eingefangen werden.

Der Einsatz solcher Drohnen-Systemen ist insbesondere für Notfälle sowie für schlecht erreichbare bzw. abgelegene Orte, Inseln oder wenig besiedelte Bergregionen für eine Traglast bis 1,8 kg sinnvoll.

Im Außenbereich haben sich Drohnen in einigen Branchen besonders gut etabliert, wie etwa:

- Tourismus und Immobilienverkauf nutzen zum Beispiel interessante Perspektiven einer Luftaufnahme für Werbefilme oder bieten Touristen mittels VR-Brillen Kameraflüge durch interessante, schöne Schluchten an.
- Baustellen (Gebäude, Brücken, usw.) können überwacht, kontrolliert und dokumentiert werden.
- Die Vermessung von unwegsamem Gelände ist möglich, um Karten zu erstellen, um Schneetiefen zu errechnen und um Lawinengefahren besser einschätzen zu können.
- Inspektion von Anlagen und Gebäuden [3]
- Regelmäßige Bestandsaufnahme von Hochregallagern
- Katastrophenschutz bei Hochwasser, Erdbeben, Unwetter, Waldbrand, usw., um aus der Luft die Lage und das Schadensausmaß einzuschätzen.
- In der Landwirtschaft werden Reifegrad und Schädlingsbefall der Anbauflächen kontrolliert.
- In der Forstwirtschaft kann aus der Luft der Wald- und Wildzustand kontrolliert werden.
- Einsätze von Polizei und Feuerwehr können mittels Luftaufnahmen unterstützt werden.

Drohnenabwehr im Außenbereich

Obwohl die Sperrgebiete um Flughäfen bekannt sind, kommt es dennoch immer wieder vor, dass Drohnen ohne Genehmigung in diese Gebiete einfliegen und den Flugbetrieb stören. Drohnen zu stoppen, zu stören oder abzuschießen ist zu einem neuen Wirtschaftszweig geworden, der sich intensiv mit der Erkennung und Abwehr von Drohnen beschäftigt.

Es gibt inzwischen verschiedene Ansätze zur Drohnenabwehr. Einer davon ist, Störsender auf Drohnen zu richten. Diese verhindern die Kommunikation zwischen den Drohnen und ihren Piloten am Boden oder stören die Verbindungen zu Navigationssatelliten und zwingen so die Luftfahrzeuge zur Landung. Diese Signalunterdrückung, auch als „Jamming“ bezeichnet, wird dazu verwendet, unerwünschte Flugobjekte zu desorientieren. Theoretisch ist es auch möglich, sowohl manuelle als auch automatische Indoor-Multikopter-Systeme auf diese Weise von außen zu stören bzw. auch Multikopter zum Absturz zu bringen. Derartige Angriffe können durch Benutzung von bestimmten Richtantennen mit einer speziellen Richtcharakteristik minimiert werden.

Durch das sogenannte GPS-Spoofing, bei dem der Drohne ein falsches GPS-Signal vorgespielt wird, ist es möglich, die Drohne vom Kurs abzubringen oder sie sogar zum Absturz zu bringen. So soll eine US-amerikanische Aufklärungsdrohne durch vorgegaukelte Signale – durch das sogenannte „Spoofing“ – über iranischem Luftraum „entführt“ worden sein.

Im militärischen Bereich wird zur Drohnenabwehr das Hightech-Radar eingesetzt, womit anfliegende Drohnen bereits auf mehrere Kilometer Entfernung erkannt werden können. In Kombination mit einem Lasersystem können die Drohnen abgeschossen werden. Das schultergestützte Abwehrsystem schießt ein Netz ab, das sich um eine herannahende Drohne wickelt und diese zum Absturz bringt. Die Reichweite des durch Luftdruck abgefeuerten Netzgeschosses ist jedoch eher gering.

INDOOR MULTIKOPTER (DROHNEN)

Einleitung

*„Multikopter ist der Sammelbegriff für alle Kopterarten (*Bicopter, Tricopter, Quadrocopter oder Quadcopter, Hexacopter, Oktocopter usw.) *mit mehr als einem Rotor (Propeller), die auf einer oder mehreren Ebenen angeordnet sind.“* [1]. D.h. Multikopter sind Drohnen mit Propellern, die für den gewerblichen und den privaten Gebrauch genutzt werden. Multicopter werden nicht nur im Freien, sondern auch in Hallen eingesetzt. Weitere Einsatzgebiete für Multikopter-Systeme werden derzeit europaweit im Rahmen von vielversprechenden Forschungsprojekten erforscht. Die DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V.) hat Tipps für den Einsatz von Multikoptern [1] sowie ein Regelwerk für den sicheren Umgang mit Indoor-

Multikoptern [2] bis 25 kg Gesamtgewicht veröffentlicht. Bis zur Fertigstellung einer EN-Norm für den Einsatz von Multikoptern in Hallen aufgrund der EU-Maschinenrichtlinie stellen DGUV-Informationen den derzeitigen Stand der Technik dar.

Aufgrund der Maschinenrichtlinie und des Standes der Technik kann folgende Definition abgeleitet werden: *„Automatisierte Arbeitsabläufe, bei denen rechnergesteuert autonome Multikopterflüge realisiert werden, fallen in das Anwendungsfeld der kollaborierenden Roboter“* [2]. Mit der Zuordnung von Multikoptern als Roboter können bei der Entwicklung von Multikoptern und der Auslegung von Multikopter-Systemen die Sicherheitsnormen EN ISO 10218-1/2 [12] herangezogen werden. Ist eine Mensch-Multikopter-Kollaboration geplant, können Kollisionsstellen auf Basis der biomechanischen Grenzwerte in der technischen Spezifikation EN ISO/TS 15066 [13] ausgelegt werden. So wie im Außenbereich virtuelle Sperrzonen um Flugverbotszonen eingerichtet werden, sollen auch bei Indoor-Anwendungen virtuelle Wände Flugkorridore bestimmen und das Luftfahrzeug daran hindern, in bestimmte Sperrräume einzudringen. Eine ähnliche Sicherheitsfunktion haben virtuelle Sicherheitswände bei Industrierobotern und mobilen Robotern, die das Betreten bestimmter Räume verhindern.

Indoor-Multikopter sind mit etwas anderen Sensoren ausgestattet als Outdoor-Multicopter und haben unterschiedliche Navigationssysteme integriert. Eine – jedoch eher kostspielige – Lösung wäre, Indoor-GPS in den Hallen einzurichten. Alternativ kann die Navigation aber auch über 3D-Mapping bzw. mittels Orientierung über Marker auf dem Boden oder an der Decke realisiert werden.

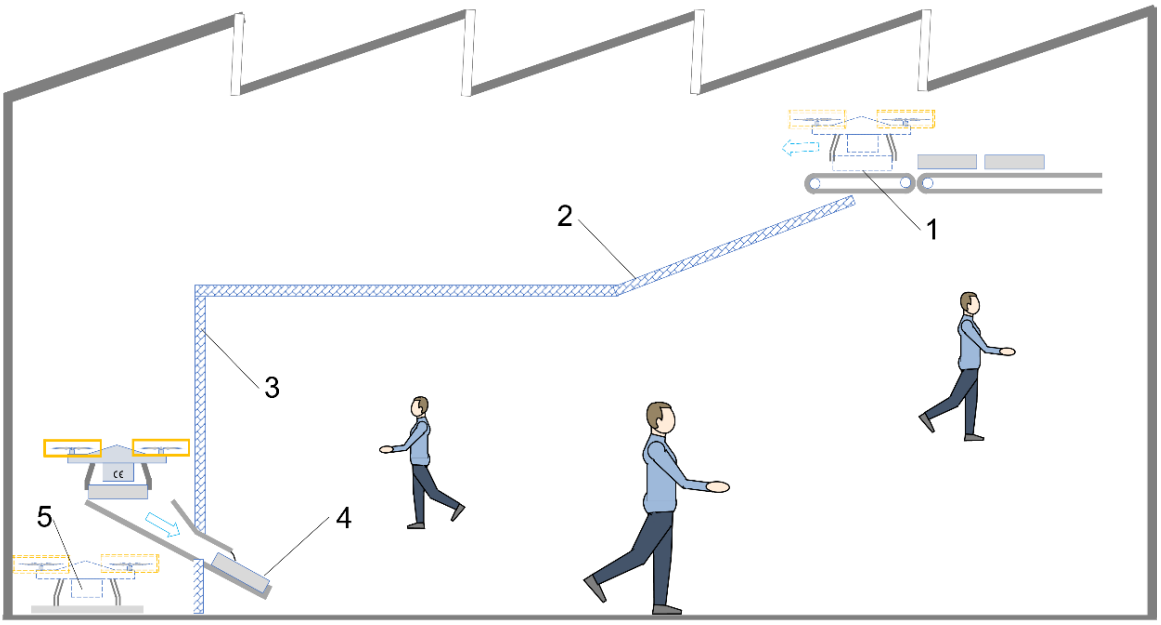

Bild 2: Beispiel vollautomatisiertes Multikopter-System – Handhabung im Indoor-Bereich mit abgedeckten Flugkorridoren und überdachten Personenwegen
1 - Aufnahme Werkstück, 2 - Korridorabdeckung, 3 - Schutzgitter/Schutznetz,
4 - Abgabe Werkstück, 5 - Start-/Landeplatz/Ladestation

Es ist theoretisch möglich, die Kommunikation zwischen Multicopter und Basisstation von außen durch Signalunterdrückung ("Jamming"), zu stören und letztlich auch Multikopter zum Absturz zu bringen. Gleichermaßen betroffen sind die beiden Betriebsarten manuelle Multikopter-Flugführung und automatische Indoor-Multikopter-Systeme. Navigationssysteme über 3D-Mapping und Marker können durch "Jamming" nicht beeinträchtigt werden, solange die Signalverarbeitung vollständig von der Multicopter-Steuerung übernommen wird. Im Gegenzug könnte die Auslagerung von z. B. der Bildverarbeitung an die rechenstarke Basisstation gestört werden.

Indoor-Multicopter werden bereits heute für die Inventur in Hochregallagern, Inspektion von Silos und Rohrleitungen, Produktionsüberwachung usw. eingesetzt. Die Robustheit von Multikoptern erfüllt jedoch noch nicht alle Sicherheitsanforderungen an einen vollautomatischen industriellen Betrieb. Um die Sicherheit von Multikopter-Systemen zu erhöhen, werden in Forschungsprojekten derzeit verschiedene Navigationssysteme, der Einsatz externer Sensoren und die Verwendung leistungsfähiger externer Rechner untersucht.

Wie ein solches Indoor-System unter Einhaltung von Sicherheitsmaßnahmen realisiert werden könnte, zeigt das Beispiel am Bild 2. Flugkorridore werden durch einen Sicherheitszaun oder ein Sicherheitsnetz abgegrenzt, um zu verhindern, dass Multikopter oder herabfallende Teile in die Arbeitsbereiche der ArbeitnehmerInnen fliegen können. In solchen Systemen müssen die Schnittstellen zwischen Mensch und Multikopter sicher gestaltet werden, wie z. B. die Station „Abgabe Werkstück“, Bild 2, Pos. 4. und Start-/Landeplatz Bild 2, Pos. 5. Der Systemintegrator oder Anwender führt eine entsprechende Risikobeurteilung und die damit verbundene Risikominderung gemäß der Maschinenrichtlinie durch.

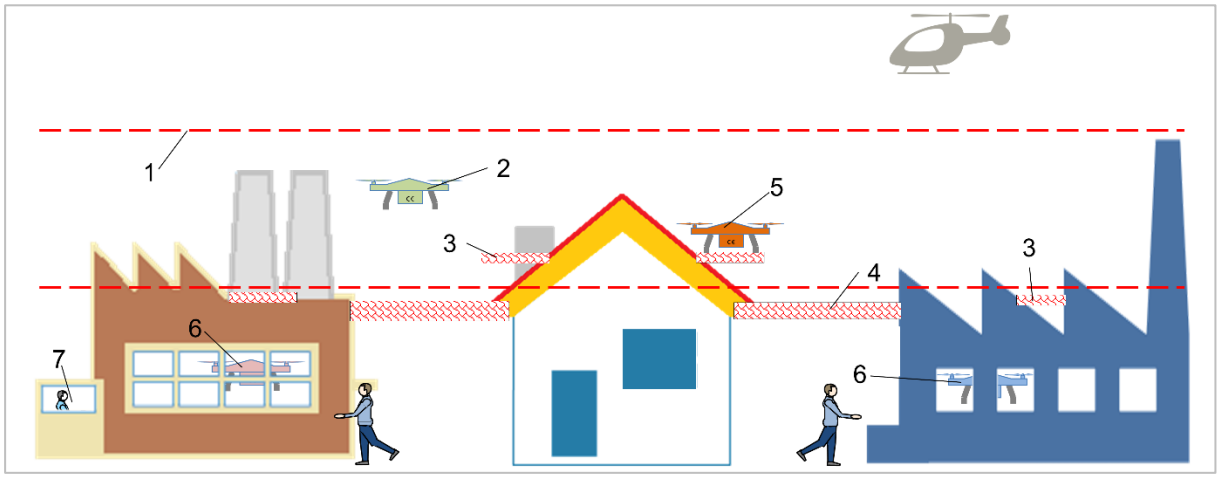

Bild 3: Beispiel Multikopter-Handling vom/zum Indoor- über Outdoor-Bereich
Legende: 1 – Flugkorridor, 2 – Außenflug, 3 – Notlandeplatz, 4 – Überdachter Fußgängerweg, 5 – Notgelandeter Multikopter, 6 – Indoor-Flug, 7 – Monitoring Multikopter-Luftverkehr

Aktuelle Forschung und Entwicklung bezüglich Multikopter für innerbetriebliche Lieferungen

In produzierenden Unternehmen, beim Indoor-Einsatz von Drohnen und im manuellen Betrieb ist der Arbeitsplatz des Piloten besonders stark gefährdet. Durch den ständigen Blick in Richtung Luftfahrzeug ist die Stolpergefahr besonders hoch. Es ist daher notwendig, den Weg für den Piloten im Vorfeld zu planen und frei von Hindernissen, rutschigen Flächen und anderen Gefahren zu halten. Bei manueller Führung des Multikopters muss dem Piloten ein Spotter beigestellt werden. Ein Spotter ist eine Person, die die Bewegungen des Piloten beobachtet, und die Flugbahn oder bestimmte Objekte ständig im Auge behält – besonders dann, wenn die Aufmerksamkeit des Piloten zur Kontrolle und präzisen Flugbahnführung erforderlich ist.

Derzeit laufen mehrere Pilotprojekte, die zeigen sollen, wie Multikopter in Produktionsprozesse integriert werden können. So werden beispielsweise bei ZF in Friedrichshafen [10] Werkstücke per Multikopter von einer Halle zur anderen transportiert. Auf diese Weise wird der Bodenverkehr entlastet. Um die Genehmigung zur Durchführung eines solchen Pilotprojekts zu erhalten, wurden umfangreiche Sicherheitsvorkehrungen getroffen, wie z. B. die Einrichtung von Notlandeplätzen, die Abdeckung von Fußgängerbereichen unter dem Flugkorridor, die Ausstattung der Drohne mit einem zweiten Akku, die Möglichkeit einer Notlandung bei bis zu zwei gleichzeitigen Rotorausfällen oder auch die Bereitstellung einer Person zur ständigen Überwachung des Flugverkehrs. [11]

Bild 3 zeigt ein Drohnensystem, an dem derzeit mehrere Forschungsprojekte mit dem Ziel durchgeführt werden, Drohnen vom Inneren einer Halle zu einer anderen Halle fliegen zu lassen. Die große Herausforderung besteht darin, mit den unterschiedlichen Wetterbedingungen, dem Mikroklima, innerhalb und außerhalb der Halle zurechtzukommen, sichere Ein- und Ausgänge für Drohnen zu schaffen und sichere Schnittstellen zum Menschen bzw. Kollaborations-Arbeitsplätze zu gestalten.

Derzeit ist für die Flüge außerhalb der Hallen zusätzlich die Erstellung der Risikobeurteilung nach dem Luftfahrtgesetz und die Beantragung einer Genehmigung bei der zuständigen Stelle (in Österreich wäre das die Austro Control) erforderlich.

Ausblick

Es ist zu erwarten, dass bald auch autonome Luftfahrzeuge für den Transport von Gütern oder Passagieren (Lufttaxi) aber auch große Passagier-Flugzeuge ohne Piloten unseren Luftraum erobern werden. Ein autonomes Luftfahrzeug wird definiert als „unbemanntes Luftfahrzeug, welches keinen Eingriff des Piloten in die Flugdurchführung erlaubt“ [4]. EU-Richtlinien weisen zudem darauf hin, dass das derzeit erreichte Sicherheitslevel in der Luftfahrtindustrie nicht verschlechtert werden darf. Sobald die notwendige Robustheit und geforderte Sicherheit der Drohnen erreicht wird, können die Güter direkt vom Firmengelände oder aus der Produktionshalle an den Kunden geliefert werden.

Literatur:

[1] DGUV 2019. „*Einsatz von Multikoptern (Drohnen) – Grundlagen und Tipps für die sichere Verwendung",* Fachbereich Aktuell, FBHL-014

[2] DGUV 2020. „*Sicherer Umgang mit Multikoptern (Drohnen)*", DGUV Information 208-058, Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)

[3] VDI 2879: 2017 05, „*Instandhaltung – Inspektion von Anlagen und Gebäuden mit UAV (Flug-Drohne)*"

[4] DIN 5452-1:2018-03, „*Luft- und Raumfahrt – Unbemannte Luftfahrzeugsysteme (UAS) – Teil 1: Begriffe*"

[5] DIN 5452-2:2019-10, „*Luft- und Raumfahrt – Unbemannte Luftfahrzeugsysteme (UAS) – Teil 2: Anforderungen an Fernpiloten*"

[6] EU-Verordnung 923/2012 zur Festlegung gemeinsamer Luftverkehrsregeln und Betriebsvorschriften für Dienste und Verfahren der Flugsicherung

[7] EU-Verordnung 2019/947 vom 24. Mai 2019 über die Vorschriften und Verfahren für den Betrieb unbemannter Luftfahrzeuge

[8] EU-Verordnung 2019/945 vom 12. März 2019 über unbemannte Luftfahrzeugsysteme und Drittlandbetreiber unbemannter Luftfahrzeugsysteme

[9] Austro Control 2020. Drone Space, online: https://dronespace.at/, Austro Control Österreichische Gesellschaft für Zivilluftfahrt mit beschränkter Haftung

[10] ZF (2019). „*ZF lässt automatisierte Drohne im Werkverkehr in Friedrichshafen fliegen"*, online: https://press.zf.com/site/press/de_de/microsites/press/list/release/release_49219.html, Zugriff am 13. 2. 2019

[11] Malisa, V. 2019. „*Digitalisierung der Produktion führt zu den komplexen Maßnahmen in der Prävention"*, 50th Nordic Ergonomics and Human Factors Society Conference 2019, Elsinore, Denmark, 25.–28. August 2019

[12] EN ISO 10218-1/-2 (2012). *„Industrieroboter — Sicherheitsanforderungen Teil 1: Roboter, Teil 2: Robotersysteme und Integration"*

[13] EN ISO/TS 15066 (2017). „*Roboter und Robotikgeräte – Kollaborierende Roboter*"