



Technische
Universität
Braunschweig



Drohnen im Alltag

Herausgeber: Niedersächsisches Forschungszentrum für Luftfahrt

Herausgabe: Braunschweig, September 2022

Autoren: Lothar Bertsch, Ulf Bestmann, Johann Dauer, Jörg Dittrich, Thomas Feuerle, Dagi Geister, Peter Hecker, Christoph Keßler, Bernd Korn, Astrid Lampert, Maria Stolz, Gordon Strickert

Redaktion: Kai Höfner, Christoph Keßler, Astrid Lampert, Rolf Radespiel, Lorenz Tichy

<https://doi.org/10.24355/dbbs.o84-2022o8310913-o>

Vorwort

Das Niedersächsische Forschungszentrum für Luftfahrt (NFL) ist das Forum der Technischen Universität Braunschweig für grundlegende Forschungsarbeiten in der Luft- und Raumfahrt. In diesem Zentrum sind auch zahlreiche Wissenschaftler*innen des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt in Braunschweig und Göttingen, der Leibniz Universität Hannover, der Fraunhofer Gesellschaft und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt eingebunden. Das NFL initiiert und koordiniert grundlegende Forschung, stellt die Verbindung zu staatlichen Stellen und der relevanten Industrie her, publiziert Forschungsergebnisse und nimmt zu aktuellen Fragen der Luft- und Raumfahrt öffentlich Stellung. Das vorliegende Positionspapier beschäftigt sich mit der Nutzung von unbemannten Luftfahrzeugen, den sogenannten Drohnen, für zivile Anwendungen.

Aktuell finden sie überwiegend Anwendung im Freizeit-Bereich, während die Nutzung für staatliche, kommerzielle und gemeinnützige Aufgaben vom Umfang her noch beschränkt ist. Für die Zukunft wird allerdings ein erhebliches Wachstum erwartet. Daher bietet dieses Positionspapier einen Einblick in verschiedene Aspekte aus Forschung, Entwicklung und Anwendung rund um das Thema Drohnen. Es richtet sich an Mitarbeitende in Verwaltungen, Menschen in der Politik, Journalisten und natürlich an interessierte Bürgerinnen und Bürger, die sich zu diesem Thema informieren möchten.

Drohnen im Alltag

1. Einleitung	4
2. Vehikel	5
2.1 Varianten von Drohnen.....	5
2.2 Antrieb	8
2.3 Avionik.....	9
2.4 Autonomie	10
3. Luftraumintegration und Luftverkehrsführung	11
4. Betrieb	14
5. Anwendungsfälle.....	16
6. Gesellschaftliche Akzeptanz.....	20
7. Forschungsprojekte in Braunschweig	22

1. Einleitung

Drohnen werden zunehmend zu einem unverzichtbaren Werkzeug im Dienste von Mensch, Umwelt und Gesellschaft. Im letzten Jahrzehnt hat sich ein dynamischer Innovationsprozess in der Entwicklung von Drohnensystemen und deren Betrieb entfaltet, wodurch eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder erschlossen werden konnte. Kaum ein anderer Sektor in der Luftfahrt hat sich in vergleichbarer Art und Weise entwickelt: Erhebliche Mittel wurden für Forschung und Entwicklung aufgewendet – sowohl aus öffentlicher als auch aus privater Hand. Damit wurde ein Innovationsschub in der Grundlagenforschung, der angewandten Forschung und der industriellen Entwicklung ausgelöst. Unterstützt wird dies durch eine überdurchschnittlich hohe Zahl von Start-ups in diesem Segment. Im Ergebnis haben sich innerhalb weniger Jahre unbemannte Flugsysteme von einem Nischenprodukt für überwiegend militärische Anwendungen zu einem gesellschaftlich zunehmend akzeptierten Hilfsmittel in vielen Bereichen des täglichen Lebens entwickelt.

Gleichwohl stellt die Entwicklung von Drohnensystemen eine immense technologische und betriebliche Herausforderung dar: Unbemannte Flugsysteme sind den gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten unterworfen wie Flugzeuge der allgemeinen oder kommerziellen Luftfahrt. Zudem teilen sie sich den Luftraum mit konventionellen Fluggeräten und müssen gleichermaßen höchste Anforderungen an Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit erfüllen. Dementsprechend sind für die Entwicklung von Drohnen alle Bereiche der konventionellen Flugwissenschaften unverzichtbar wie z.B. Flugmechanik und Aerodynamik, Flugzeugbau und Antriebe. Zusätzlich existieren jedoch besondere Herausforderungen, die sich aus der notwendigen Miniaturisierung im Hinblick auf Gewicht, Größe und Energieeinsatz ergeben. Weiterhin müssen Drohnen im Gegensatz zu bemannten Flugsystemen einen weitgehend automatischen Flugbetrieb ermöglichen. Beides zusammen stellt Forschung und Entwicklung im Bereich der Drohnensysteme vor besondere Herausforderungen.

Um sich diesen neuen technischen, gesellschaftlichen und wissenschaftlichen Herausforderungen im Bereich unbemannter Flugsysteme zu stellen, hat das Niedersächsische Forschungszentrum für Luftfahrt (NFL) in den vergangenen Jahren sein Forschungsportfolio ausgehend von den Flugwissenschaften konventioneller Luftfahrzeuge weiterentwickelt. Seine Mitglieder haben intensive Forschungsanstrengungen unternommen, um Drohnen zu dem eingangs beschriebenen „Werkzeug im Dienste von Mensch, Umwelt und Gesellschaft“ zu machen. Um die allgemeinen Herausforderungen auf diesem Gebiet sowie aktuelle Forschungsarbeiten am Forschungsflughafen Braunschweig als dem Standort des NFL zu verdeutlichen, werden in diesem Positionspapier Fragen der Technologie, des Betriebes und der Anwendung von Drohnen zusammengefasst, deren gesellschaftliche Akzeptanz behandelt und mögliche Perspektiven in Forschung, Entwicklung und Betrieb von Drohnen aufgezeigt.

2. Vehikel

Unbemannte Luftfahrzeuge, oder Drohnen, werden im Alltag oft mit sogenannten Multikoptern gleichgesetzt. Diese haben insbesondere der unbemannten luftgestützten Foto- und Videoaufnahme mit verhältnismäßig geringem Aufwand und Kosteneinsatz zum Durchbruch verholfen. Sie sind tausendfach bei Privatpersonen, Film und Fernsehen, Gebäudevermessung, Industrie und auch der Polizei und Feuerwehr im Einsatz. Für hohe Fluggeschwindigkeiten, Reichweiten oder Flugzeiten sind derartige Fluggeräte aber nur eingeschränkt geeignet.

Der Bedarf für weitere Anwendungen hat zu einer großen Formenvielfalt geführt. Neben flugzeugähnlichen Systemen kommen zurzeit auch Hybridsysteme auf den Markt, um die Forderungen nach großer Reichweite und Schwebefähigkeit gleichzeitig realisieren zu können. Ein weiteres Unterscheidungsmerkmal heutiger unbemannter Luftfahrzeuge ist deren Antrieb bzw. deren primärer Energieträger. Während Elektroantriebe ein Schlüssel zur Realisierung von leisen, CO₂-neutralen Fluggeräten sind und deshalb für urbane Bereiche oder sogar Innenräume besonders geeignet sind, haben Verbrenner- und Hybridantriebe nach wie vor im Lufttransport schwerer Güter oder für das Abfliegen großer Strecken ihre Berechtigung.

Bei allen Unterschieden in Konfiguration und Antrieb ähnelt sich die Ausstattung an Regelungstechnik, Sensorik und den Aktuatoren (Stellmotoren) der unbemannten Luftfahrzeuge untereinander stark. Die Gesamtheit der elektrischen und elektronischen Geräte an Bord eines Fluggerätes, die Avionik, hat für unbemannte Luftfahrzeuge eine große Bedeutung: Sie dient dazu, den nicht an Bord befindlichen Piloten zu ersetzen oder zumindest seine Funktion als Steuerer in die Ferne auf den Boden zu verlagern.

2.1 Varianten von Drohnen

Drohnen lassen sich am besten anhand ihrer Konfiguration einteilen, also der Anordnung und Anzahl der auftriebserzeugenden Elemente für Antrieb und Steuerung. Bei senkrecht start- und landefähigen bzw. schwebefähigen Flugzeugen (VTOL, vertical take off and landing) kommen überwiegend Drehflügler zum Einsatz, bei denen große Rotoren und/oder Propeller Schub zur Kompensation des Gewichts und den Vortrieb liefern. Demgegenüber realisieren Starrflügel eine Trennung des Auftriebs und des Vortriebs durch Tragflächen und z.B. Propellerantriebe, wodurch sie besonders effizient oder leistungsfähig sind, jedoch eine Start- und Landebahn brauchen.

Kombiniert man Tragflächen mit Drehflügeln zur Auftriebserzeugung, so erhält man Drohnen, die besondere Spezialisierungen hinsichtlich Flugleistungen und Flugeigenschaften ermöglichen. Ein Nischendasein führen Drohnen, die auf statischem Auftrieb beruhen (Ballon, Luftschiff) oder Kombinationen aus dynamischer und statischer Auftriebserzeugung realisieren. Im Folgenden sind die wichtigsten Konfigurationen für Drohnen mit ihren Vor- und Nachteilen bzw. Hauptanwendungsfeldern aufgeführt.

Multikopter

Multikopter sind in der Öffentlichkeit die wohl bekannteste und verbreitetste Drohnenkonfiguration (Abb. 1). Oft werden vier Rotoren („Quadrocopter“) genutzt, die über elektrische, drehzahlgesteuerte Motoren angetrieben werden. Sie sorgen für Auftrieb und durch entsprechende Ansteuerung auch für Vortrieb und Steuerung um alle Achsen des Fluggerätes. Sonderbauformen realisieren Konfigurationen mit bis zu 18 Rotoren zur Erhöhung der Sicherheit und Tragfähigkeit. Durch laufruhige, gegenläufige Antriebe und verhältnismäßig kleine Propeller, verbunden mit nur geringen Fluggeschwindigkeiten, erhält man vibrationsarme Fluggeräte, die sich insbesondere zur Aufnahme von Luftbildern und Videos, Kartenerstellung und für andere Messzwecke eignen. Die Rotoren lassen sich zur sicheren Handhabung gut durch Käfige abschirmen. Die Geräuschentwicklung ist gering, so dass Multikopter auch an Orten einsetzbar sind, an denen Fluggeräte mit höherer Lärmemission störend wären.

Hubschrauber

Hubschrauber kombinieren eine senkrechte Start- und Landefähigkeit mit sehr guter Schwebeflugeffizienz bei gleichzeitig größerer Reichweite und Fluggeschwindigkeit als Multikopter (Abb. 2). Zudem können sie große Lasten tragen. Das geht so weit, dass ehemals bemannt geflogene Hubschrauber zu Drohnen umgebaut werden. Als Antrieb fungieren – außer bei sehr kleinen Hubschrauberdrohnen – Kolbenmotoren oder Turbinen. Im Gegensatz zu den kleinen Propellern der Multikopter verwenden sie einen oder zwei große Rotoren. Um den erheblichen Flugleistungszuwachs durch erhöhten Energieinhalt der Brennstoffe nutzen zu können, muss man aber eine komplexere Steuerung vorsehen. Die erhöhte Leistungsfähigkeit wird daher durch erhöhte Systemkomplexität, höheren Wartungsaufwand und größere Betriebsrisiken erkauft.



Abb. 1: DLR-Oktokopter kurz nach dem Start



Abb. 2: DLR-Hubschrauber superARTIS

Starrflügler

Unter Starrflüglern versteht man Flugzeuge, deren Tragflächen durch Anströmung Auftrieb erzeugen. Beim konventionellen Flugzeug mit Haupt- und Heckleitwerk spricht man von der Drachenkonfiguration (Abb. 3). Aber auch die sogenannten Nurflügler gehören zu den Starrflüglern. Derartige Flugzeuge haben, egal ob bemannt oder unbemannt, erhebliche Effizienzvorteile gegenüber den senkrecht start- und landefähigen Drehflüglern. Den geringeren Bedarf an Antriebsleistung kann man für höhere Reichweiten und Fluggeschwindigkeiten nutzen. Durch extremen Leichtbau, der beispielsweise bei solarbetriebenen Flugzeugen angewendet wird, sind eine besonders große Flughöhe und Flugdauer erreichbar. In zivilen Anwendungen sind Starrflügeldrohnen bisher aufgrund ihrer Anforderungen an geeignete Start- und Landeflächen eher selten anzutreffen. Für die Forschung und Aufklärung finden sich aber einige Systeme, die zum Teil Reichweiten von mehreren tausend Kilometern oder mögliche Flugzeiten von 40 Stunden und darüber hinaus aufweisen.



Abb. 3: Starrflügler ALADINA der Technischen Universität Braunschweig in Spitzbergen

Hybridflugzeug

Das Hybridflugzeug kombiniert die Konfiguration eines Starrflüglers mit der eines Multikopters durch starre oder schwenkbare Propeller, sodass sowohl Schwebeflug als auch schneller Vorwärtsflug durch Wechsel der Konfiguration vom Multikopter zum Starrflügler und umgekehrt realisiert werden kann. Die Systemkomplexität nimmt dadurch zwar zu, man erhält aber eine Drohne mit hoher Flugleistung, die dennoch keine besondere Infrastruktur (Landebahn) benötigt. Damit sind die Hybridflugzeuge besonders geeignet für kurzfristige Einsätze, wie sie in medizinischen Anwendungen, der Katastrophenhilfe usw. häufig auftreten. Elektronische Flugsteuersysteme spielen für die Beherrschbarkeit des komplexen Übergangs zwischen den gegensätzlichen Konfigurationen eine große Rolle (mehr dazu im Kapitel „Avionik“). Zwar sind Multikopter ohnehin grundsätzlich mit elektronischen Steuersystemen ausgestattet, doch ändern sich die Flugeigenschaften in der Übergangsphase deutlich.

2.2 Antrieb

Unterschiedliche Konfigurationen, Missionen und Umweltbedingungen benötigen ebenso unterschiedliche Antriebsarten und -konzepte. Der Antrieb teilt sich auf in den aerodynamisch wirksamen Teil (z.B. Propeller), den Motor und den Energiespeicher (z.B. Akku). Diese Komponenten lassen sich zu Gesamtantriebssystemen kombinieren, um Forderungen nach hoher Fluggeschwindigkeit, hoher Flugdauer, hoher Transportleistung oder nach einfachem mechanischen Aufbau mit geringem Wartungsbedarf zu erfüllen. Die wichtigsten Antriebskombinationen für Drohnen bzw. unbemannte Luftfahrzeuge sind im Folgenden kurz dargestellt.

Elektrischer Propellerantrieb

Elektrisch angetriebene Propeller kommen sowohl in Multikoptern als auch bei Hybrid- und Starrflügelkonfigurationen zum Einsatz (Abb. 4). Energieträger sind meistens lithiumbasierte Akkumulatoren, überwiegend werden starre, nicht verstellbare Propeller verwendet. Vorteile sind der einfache mechanische Aufbau, eine gute Regelbarkeit des Antriebs über elektronische Drehzahlregler zur Propellerschubvariation, eine hohe Leistungsfähigkeit und ein geringes Geräusch- und Vibrationsniveau. Nachteilig ist vor allem die begrenzte Kapazität der Akkumulatoren, wodurch Reichweite und Nutzlast derzeit noch stark limitiert sind. Diesem Nachteil kann man begegnen, indem anstelle der Akkumulatoren Brennstoffzellen mit Wasserstofftanks genutzt werden. Diese Tanks lassen sich ähnlich schnell betanken wie konventionelle Kraftstofftanks, liefern aber statt mechanischer Energie die in Drohnen gut nutzbare elektrische Energie.



Abb. 4: Elektrisch angetriebene Propeller des DLR Explorer

Propellerantrieb mit Kolbenmotor

Treibt man Propeller von Flugzeugen mit Kolbenmotoren an (Abb. 5), so kann man gegenüber elektrischen Antrieben deutlich höhere Flugzeiten bei gleicher Flugleistung erzielen. Der Betrieb wird aber aufwändiger, Lärmemission und mechanische Beanspruchung nehmen zu. Flugkonzepte wie Multikopter lassen sich aufgrund der verteilten Antriebe, und einer schlechteren Regelbarkeit nicht sicher mit diesem Antrieb realisieren.



Abb. 5: Boxermotor des DLR-Flugzeugs Prometheus

Turbinenantrieb für Rotoren

Wenn es um maximale Leistung bei minimalem Gewicht geht, kommen Turbinenantriebe wie auch bei bemannten Hubschraubern zum Einsatz (Abb. 6). In Verbindung mit einem großen Rotor, der über ein Getriebe an eine Wellenturbine angekoppelt wird, um die sehr hohe Drehzahl der Turbine auf die erforderliche, niedrigere Drehzahl des Rotors zu reduzieren, erhält man leistungsfähige senkrecht startende und landende (vertical take-off and landing, VTOL) Fluggeräte. Deren besonders gutes Verhältnis von Nutzlast zu Gesamtmasse wird vor allem von professionellen Anwendern genutzt. Die Antriebs- und Steuerungssysteme sind aufwändig und wartungsintensiv.



Abb. 6: Wellenturbine des DLR superARTIS

Hybridantriebe

Auch die genannten Antriebssysteme lassen sich hybridisieren, das heißt, mit alternativen Energieträgern oder Motoren kombinieren. Ein verbreiteter Ansatz sind elektrische Antriebe mit all ihren Vorteilen, die mit Verbrennungskraftmaschinen oder Brennstoffzellen kombiniert werden, um insbesondere Reichweite und Flugzeit zu erhöhen. Verbrennungskraftmaschinen kommen dann gemeinsam mit elektrischen Generatoren zum Einsatz und entlasten oder laden die zusätzlich vorhandenen Akkus. Bei Solarflugkonfigurationen werden Akkumulatoren mit Solarzellen kombiniert, um sowohl bei Tag als auch bei Nacht ausreichend Energie für Flug und Nutzlast zur Verfügung stellen zu können.

2.3 Avionik

Erst die elektronische Ausrüstung ermöglicht es, die Systeme aus der Ferne zu führen oder die normalerweise an Bord vorhandenen Pilotenfähigkeiten technisch zu ersetzen. Diese Ausrüstung fasst man unter dem Sammelbegriff Avionik zusammen. Avionik enthält Komponenten für:

- Navigation (z.B. Satellitennavigation wie GPS, Global Positioning System),
- Fernführung und Überwachung,
- Luftraumintegration (Übermittlung der Eigenposition),
- Messdatenerfassung (Sensorik, Messtechnik),
- Steuerungs- und Regelungstechnik (meist rechnerbasiert),
- Beeinflussung der Fluglage (Aktuatoren, Stellmotoren) und
- Messdatenaufzeichnung (Flugschreiber, „Blackbox“).

Globale Satelliten-Navigationssysteme (GNSS) bilden zusammen mit Systemen zur Erfassung der Lage meist die Basis zur Bestimmung von Position, Geschwindigkeit und Lage eines Luftfahrzeugs und damit zu dessen automatischem Betrieb. Durch die Verfügbarkeit verschiedener GNSS (GPS, GALILEO, Glonass und Beidou) und anderer Systeme stehen heute erheblich mehr verfügbare Satellitensignalquellen für diese Aufgabe zur Verfügung als noch vor wenigen Jahren. Gleichzeitig hat jedoch die Bedrohung dieser Signale durch absichtliche oder unabsichtliche Störung erheblich zugenommen. Deshalb ist es nötig, weitere Technologien einzusetzen.

Im Zusammenspiel der Navigation mit heute verfügbaren Autopiloten wird die zuverlässige und exakte Ausführung von Missionen entlang vorgegebener Koordinaten ermöglicht, was bereits in diversen automatisierten Anwendungen von der Überwachung und Inspektion bis hin zu Luftfrachtanwendungen gezeigt wurde. Auch Start und Landung sind durch die Autopiloten zuverlässig programmierbar. Die Funktion des menschlichen Piloten am Boden reduziert sich dabei meist auf die Überwachung der Ausführung des vorprogrammierten Fluges.

Künstliche Intelligenz (KI) bietet neue Arten der Nutzung von Sensoren und Anwendungsmöglichkeiten für Drohnen in der Luftfahrt, z.B. in der Landwirtschaft, im Baugewerbe, bei der Überwachung, in der Photogrammetrie (Bildmessung), bei Kartierung und Vermessung von Gelände, Infrastruktur und ganzen Städten. Insbesondere optische Sensoren können hierbei zur Navigation verwendet werden und auch als eine intelligente Nutzlast für Messungen und zur Überwachung aus der Luft dienen. In Katastrophenszenarien werden Drohnen für eine schnelle Lageerfassung in schwer zugänglichen Gebieten eingesetzt.

2.4 Autonomie

Häufig wird zwischen Autonomie- und Automationsgraden differenziert. Assiiert, automatisch, vollautomatisch oder autonom sind Begriffe, die zur Abgrenzung verwendet werden. Wesentlich ist dabei, wie sehr ein Bediener oder Pilot in den Betrieb einbezogen wird bzw. wie selbstständig ein technisches System agieren darf. Technische Systeme können manche Aufgaben besser als ein menschlicher Pilot erledigen und ermöglichen dadurch neue Anwendungen. So werden z.B. „unfliegbar“ Systeme „fliegbar“, und mehrere Fluggeräte können durch einen Piloten gleichzeitig gesteuert werden.

Verfahren der KI sind Schrittmacher der Automation für verbessertes Situationsbewusstsein, Objekterkennung, Umgang mit verändertem oder unbekanntem Flugverhalten etc. In vergleichbaren technischen und sicherheitsrelevanten Umfeldern wie dem autonomen Fahren ermöglicht es die KI, die Erfahrung von Millionen von Testkilometern in einem Fahrzeug zu kondensieren. Bei der Umsetzung in unbemannte Luftfahrzeuge ist aber Vorsicht geboten, denn es wird gerade erst erarbeitet, unter welchen Bedingungen diese Verfahren in der Luftfahrt verwendet werden können, um die Flugsicherheit nicht zu gefährden. Für einzelne Anwendungen wie die Bildverarbeitung zur Landeplatzbewertung ist die Realisierung bereits absehbar. Die Nutzung von KI zur Entscheidungsfindung ist bezüglich Verlässlichkeit, Transparenz und Erklärbarkeit besonders herausfordernd. In der bemannten Luftfahrt ist der Nachweis der Funktionsfähigkeit von komplexer Software unter allen denkbaren Gegebenheiten ein Standardprozess in der Sicherheitsprüfung. Die Entwicklungsprozesse der bemannten Luftfahrt sind nicht direkt auf Drohnen übertragbar. Während bei der bemannten Luftfahrt ein Luftfahrzeug stets sicher sein muss, es also nicht zu katastrophalen Systemausfällen kommen darf, muss dies bei einer Drohne nicht unbedingt so sein. Technische Fehler oder unvorhergesehenes Verhalten können akzeptiert werden, solange niemand dadurch geschädigt oder die Umwelt gefährdet wird. Hier entstehen neuartige Methoden, um solche Anforderungen abzusichern.

3. Luftraumintegration und Luftverkehrsführung

Eine große Herausforderung für den zukünftigen Luftverkehr besteht darin, neue Luftverkehrsteilnehmer mit unterschiedlichen Flugleistungen, Fähigkeiten und Missionsprofilen, wie sie sich z.B. aus den in Kapitel 5 beschriebenen Drohnenanwendungen oder für Lufttaxis, hochfliegenden Solarplattformen, siehe Kapitel 7 ergeben, sicher und effizient in den Luftraum zu integrieren. Es gibt derzeit weder einen vollständigen Rechtsrahmen noch eine etablierte Verkehrsmanagement-Infrastruktur, um die Nutzung des allgemeinen Luftraums für diese neuen Teilnehmer zu ermöglichen und sicher zu handhaben. Dies erfordert insbesondere eine Luftraumneuorganisation, eine Anpassung von Flugregeln, die Definition von Standards und gemeinsamen Schnittstellen zwischen bemanntem und unbemanntem Luftverkehr sowie die Etablierung eines Verkehrsmanagements, das dynamisch auf Änderungen reagieren und eine hohe Anzahl an Flugbewegungen sicher und effizient ermöglichen kann.

In Europa hat sich für das neue Verkehrsmanagement von Drohnen der Begriff „U-Space“ etabliert. Im amerikanischen Sprachgebrauch wird von Unmanned Traffic Management (UTM) gesprochen. U-Space ist in vier Phasen unterteilt und sieht eine schrittweise Integration des Drohnenverkehrs vor. In den einzelnen Phasen sollen unterschiedliche Services angeboten werden. Dies beginnt mit einer Registrierungspflicht zur elektronischen Identifikation von Drohnen über Monitoring und Trackingdienste bis hin zu Luftraumkapazitätsmanagement, Konflikterkennung und Konfliktvermeidung.

Für die gemeinsame Nutzung des Luftraums durch Drohnen und bemannten Flugverkehr entstehen viele Anforderungen an den Betrieb von Drohnen. Die bisherige Unterteilung der Lufträume wird daher um eine entsprechende Unterteilung im U-Space erweitert. Je nach Art der Drohnenmission müssen die jeweils durchflogenen Lufträume berücksichtigt werden. Missionen im Sichtbereich des Piloten (typischerweise bis 500 Meter Entfernung um den Piloten und bis 120 Meter Höhe) haben ein relativ geringes Risiko und können größtenteils ohne spezielle Genehmigung durchgeführt werden. Missionen, die über das Sichtfeld des Piloten hinausgehen, finden in einer anderen Kategorie von Lufträumen statt. Diese stellen eine Reihe an Anforderungen an den Drohnenbetrieb:

- Identifikation: Die Drohne muss ihre Identifikation aussenden, um z.B. von Fluglotsen eindeutig identifiziert werden zu können.
- Einhaltung von Sperrgebieten (Geo-Fences): Es muss sichergestellt sein, dass die Drohne in kritische Gebiete, z.B. Kontrollzonen von Flugplätzen, nicht einfliegen kann, auch nicht im Falle von Fehlfunktionen des Systems.
- Positionsübermittlung: Die Drohne muss ihre Position (Koordinaten und Höhe) zusammen mit der aktuellen Zeit übermitteln können. Die Genauigkeit der Positionsdaten muss den Anforderungen des Luftraums entsprechen.

- Kollisionsvermeidung (Detect&Avoid): Anforderungen an das Verhalten von Drohnen zur aktiven Kollisionsvermeidung mit anderen Luftfahrzeugen werden derzeit abgestimmt.
- Strategische Konfliktvermeidung: Der Drohnenbetreiber muss vor dem Flug einen Flugplan mit Zeitangabe einreichen, Korrekturen erhalten und entsprechend reagieren können.
- Taktische Konfliktvermeidung: Die Drohne muss über den Betreiber taktische Anweisungen der Flugverkehrskontrolle zur Konfliktvermeidung erhalten und ausführen können.
- Notfall-Management: Der Betreiber der Drohne muss technische Notfälle sofort melden und auch auf eventuelle Drohnennotfälle in der Umgebung reagieren.
- Einflug in den kontrollierten Luftraum: Dafür ist eine Kommunikation des Betreibers mit den Fluglotsen erforderlich. Fluglotsen können den Einflug der Drohne erlauben, umlenken oder verbieten.

In aktuellen Projekten wird das U-Space-Konzept z.B. für den Drohnenbetrieb in Städten untersucht (Abb. 7). Hierbei geht es neben Betriebsverfahren und Anforderungen an den Drohnenbetrieb insbesondere um Sicherheit, Effizienz und soziale Akzeptanz. Zentrale Bestandteile der Untersuchung sind auch die Entwicklung und Analyse von Szenarien für eine potentielle Marktdurchdringung durch Drohnen bis 2050. Resultierende ökonomische Aspekte wie die Vehikelauslastung und das Kosten-Nutzen-Potenzial werden von den Forschenden bewertet.

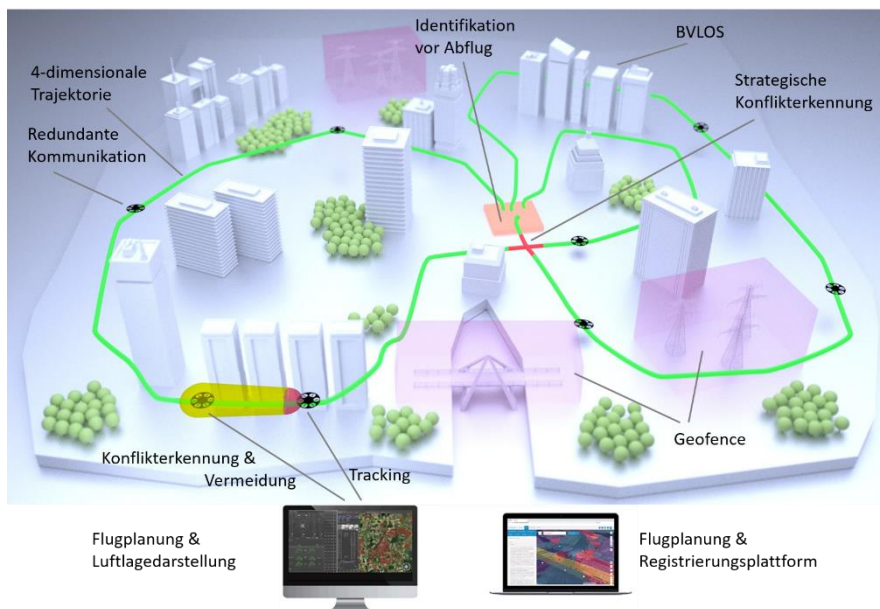


Abb. 7: Beispielhafte Implementierung eines U-Space im DLR-Projekt City-ATM

Neue Flugverkehrsteilnehmer werden nicht nur in den städtischen oder niedrigen Lufträumen erwartet, sondern auch in erheblicher Zahl im oberen Luftraum über 20 Kilometer Höhe. Sogenannte HAPS („High Altitude Pseudo Satellites“) sind hochfliegende Plattformen mit sehr langer Verweilfähigkeit. Aufgrund ihrer großen Betriebsflughöhen und der daraus resultierenden Flächenabdeckung ist

geplant, diese Systeme für Telekommunikations- sowie Überwachungsanwendungen einzusetzen. HAPS werden momentan noch selten und nur unter speziellen Bedingungen betrieben. Bei jeder HAPS-Flugmission ist eine ausreichende Staffelnung zu anderem Flugverkehr zu gewährleisten. Dadurch werden große Luftraumregionen für ein einziges Flugereignis reserviert, was die Gesamtleistung und -kapazität des Luftverkehrssystems stark beeinträchtigen würde, wenn die Zahl an HAPS-Flugbewegungen signifikant zunimmt. Auch auf solche Missionen muss das U-Space-Konzept z.B. in Form von dynamischen Sonderlufträumen anpassbar sein.

Eine erste Zulassung für den Betrieb von Drohnen im zivilen Luftraum wurde in Israel erteilt. Die Zulassung bezieht sich auf eine Aufklärungsdrohne (Hermes StarLiner), einem Flugzeug mit einem maximalen Abfluggewicht von circa 1,6 Tonnen und 17 Meter Spannweite. Mit der Zertifizierung wird der Betrieb der Drohne erstmalig im zivilen, nicht getrennten Luftraum ermöglicht.

In der Schweiz werden von der Firma Meteomatics mit Bewilligung des Bundesamts für Zivilluftfahrt regelmäßig Drohnenmessungen bis sechs Kilometer Höhe durchgeführt, um Daten für eine verbesserte Wetterprognose zu gewinnen.

4. Betrieb

EU-Recht und Rahmenwerk

In den letzten Jahren hat es sehr große regulatorische Umbrüche im Bereich des Luftrechts für Drohnen gegeben, die ein Marktwachstum der unbemannten Luftfahrzeugsysteme erwarten lassen. In der Vergangenheit wurde der Einsatz von zivilen Drohnen mit einer maximalen Abflugmasse kleiner 150 Kilogramm von den einzelnen EU-Mitgliedstaaten individuell und äußerst heterogen geregelt. Durch diese unterschiedliche Behandlung haben sich lediglich einfache, meist privat genutzte Drohnensysteme durchgesetzt, die im Sichtflugbereich des Steuerers betrieben werden.

Die Hürden für komplexere Anwendungen (längere Flugstrecken, autonomer Betrieb, Frachttransporte) bestanden bisher vor allem darin, dass sich für Hersteller aufgrund der verschiedenen und komplizierten europäischen und auch weltweiten Ausnahmeregeln keine Entwicklung von sicheren, einsatzreifen Drohnensystemen gelohnt hat. So waren bisherige Entwicklungen vor allem Demonstrator-Prototypen.

Um diesen Zielkonflikt zu beheben, hat die Europäische Kommission mit dem Erscheinen der „Durchführungsverordnung (EU) 2019/947“ die regulative Grundlage für den Drohnenbetrieb in drei Kategorien geschaffen:

- Die genehmigungsfreie „offene“ Kategorie trifft auf die meisten Drohnenaktivitäten von Hobbypiloten und risikoarmen kommerziellen Aktivitäten zu. Sie bezieht sich auf ein Startgewicht von weniger als 25 Kilogramm, Betrieb vor allem in Sichtweite und in sicherer Entfernung von Menschen.
- Daneben gibt es eine genehmigungspflichtige „spezielle“ Kategorie, die seit dem 31.12.2020 in den 27 EU-Staaten sowie einigen weiteren europäischen Ländern zur Anwendung kommt und für die meisten kommerziellen Drohnenanwendungen relevant sein wird. Ein Betrieb in dieser Klasse sieht eine Risikobewertung vor, um die Anforderungen für den sicheren Betrieb festzustellen.
- Die dritte Kategorie ist die „zulassungspflichtige“ Kategorie. Sie wird derzeit noch von der EASA (Agentur der Europäischen Union für Flugsicherheit) und der Europäischen Kommission erarbeitet. Hierunter wird der Betrieb von Lufttaxis fallen, die langfristig autonom fliegen sollen, aber auch der Transport von gefährlichen Gütern und ähnliche Betriebsarten mit hohem betrieblichen Grundrisiko.

Durch die Existenz dieses europaweit gültigen Rahmenwerks wird jetzt die notwendige Investitionssicherheit erzeugt, die die Entwicklung von neuen Regelbetrieben von Drohnen erstmals ermöglichen. Gleichzeitig wird die Verantwortung für Drohnenbetriebe aller Systemgrößen auf eine europäische Ebene gehoben.

Risikobasierte Betriebszulassung

Die wesentliche Neuerung, die durch die „spezielle“ Kategorie in die Luftfahrt eingeführt wird, ist die Analyse des Betriebsrisikos als wesentlicher Teil einer Zulassung für Drohnenbetreiber. Da das Risiko für unbeteiligte Personen nicht nur von der Größe einer Drohne abhängt, sondern vor allem vom Betriebsort (Bevölkerungsdichte am Boden und Befliegungsdichte des Luftraums) bestimmt wird, wird die Zulassung im Unterschied zur bemannten Luftfahrt neu organisiert: Während eines Genehmigungsprozesses für den Betrieb eines unbemannten Luftfahrzeugs wird das Risiko für jede Betriebsart und jeden Betriebsort individuell ermittelt. Darauf aufbauend wird ein Portfolio von ebenso individuellen Zulassungs- und Qualifizierungsanforderungen für die Technik der Drohne, die Organisation des Betreibers und für die Ausbildung des Betriebspersonals ermittelt und vorgeschrieben.

Diese neue Denkweise führt dazu, dass Drohnen mit niedrigeren Zulassungsstandards im Vergleich zur bemannten Luftfahrt für den gewerblichen Regelbetrieb eingesetzt werden dürfen, wenn das Restrisiko des Betriebs für unbeteiligte Personen als ebenso niedrig eingestuft wird. Hierdurch wird der flächendeckende Einsatz von Drohnen für den Flug außerhalb der Sichtweite eines „Piloten“ am Boden erstmals ermöglicht. Auch ermöglicht die Europäische Kommission durch diese Regeln erstmalig den regulären autonomen Flugbetrieb von Drohnen, ohne die ständige Aufsicht durch einen Fernpiloten, sofern das Risiko der Mission durch entsprechende Sicherheitsvorkehrungen als sehr gering eingestuft wird.

Damit die erwähnten Risikobewertungen von Betreibern zu gleichwertigen Ergebnissen kommen, wird in Europa auf den internationalen Standard des „Specific Operation Risk Assessment“ (SORA) gesetzt, der effektiv sechs Risikoklassen für Drohnenbetriebe einführt. Hersteller von Drohnen, Drohnenbetreiber, Wartungs- sowie Ausbildungsbetriebe erhalten auf diese Art die Möglichkeit, sich auf die Anforderungen von einer oder mehr Risikoklassen zu spezialisieren und können ihre Produkte und Dienstleistungen zukünftig europaweit vermarkten. Künftig werden neue, spezialisierte Dienstleistungsbetriebe entstehen, die durch die klassischen Wartungs-, Herstellungs- und Ausbildungsbetriebe der bemannten Luftfahrt nicht abgedeckt werden.

Zur Anwendung dieser risikobasierten Betriebszulassung bedarf es allerdings geschützter Bereiche, in denen die notwendigen Verfahren und Technologien zur Risikoverringerung entwickelt und erprobt werden können. Zu diesem Zweck baut das DLR am Flughafen Cochstedt das Nationale Erprobungszentrum für unbemannte Luftfahrtsysteme auf, in dem künftig auch große und schwere Drohnen in einem sicheren Umfeld getestet werden können.

5. Anwendungsfälle

5.1 Urban Air Mobility

Ziel der Urbanen Luftmobilität (Urban Air Mobility) ist die Personenbeförderung auf Kurz- und Mittelstrecken zwischen den wichtigsten Verkehrsknoten einer Stadt (Flughafen, Innenstadt, Bahnhof) mit Hilfe von elektrisch angetriebenen Luftfahrzeugen. Während dies anfangs noch mit einem Piloten an Bord erfolgt, soll langfristig der Pilot durch autonom handelnde Systeme ersetzt werden.

Der urbane Luftraum ist besonders herausfordernd, weil die dichte Bebauung Hindernisse für das Luftfahrzeug darstellt und er außerhalb speziell eingerichteter Landepunkte wenig Landeplätze anbietet, die im Notfall angeflogen werden können. Dies stellt besonders hohe Anforderungen an die Flugsicherheit der Luftfahrzeuge. Außerdem müssen die Lufttaxis besonders leise sein, um Anwohner von Lufttaxistandorten nicht zu stören. Lufträume von Großstädten sind ohnehin durch Flugverkehr im An- und Abflug zu stadtnahen Verkehrsflughäfen hoch frequentiert. Es müssen demnach besondere Lösungen gefunden werden, um eine Anbindung urbaner Gebiete an Flughäfen effizient zu gestalten. Erste Anwendungen werden in den kommenden Jahren erwartet.

5.2 Unbemannter Frachttransport

Frachttransport reicht von kleinen, leichten bis zu großen, schweren Lasten. Dies betrifft kleine Lieferdrohnen oder eben große Frachtflugzeuge. Denkbar sind im ersten Fall zunächst Anwendungen bei der Versorgung schlecht angebundener Gebiete mit dringend benötigten Gütern, etwa mit Medikamenten oder Ausrüstungsgegenständen der Katastrophenhilfe. Ein weiterer Schritt ist der umfangreiche Austausch eilig benötigter Produktionsteile zwischen Industriestandorten. Die Paketzustellung aus der Luft ist dabei ein Zukunftsthema mit breitem Anwendungspotenzial. Im zweiten Fall wird zur Reduktion der Kosten untersucht, wie Luftfracht global zunehmend über unbemannte Transporter abgewickelt werden kann. Der Weg vom heutigen Zweimann-Cockpit hin zum autonom agierenden Frachtflugzeug führt über die Zwischenstufen Einmann-Cockpit, bedarfsweise besetztes Cockpit und ferngesteuertes Frachtflugzeug. Parallel zu diesen planbaren, regelmäßig verkehrenden Frachtflügen der Mittel- und Langstrecke werden Drohnen bereits jetzt für Versorgung von Gebieten mit schlechter Infrastruktur und dringendem Sofortbedarf weiterentwickelt.

5.3 Krisenmanagement und Humanitäre Hilfe

Einsatzkräfte von humanitären Hilfsorganisationen müssen im Katastrophenfall möglichst schnell – am besten in Echtzeit – wissen, wie groß Schäden an der Infrastruktur in der betroffenen Region sind und welche Verkehrswege zum Einsatzort genutzt werden können. Hilfsgüter müssen schnell und effektiv in unzugängliche Regionen gebracht werden. In diesem Bereich sind Drohnen bereits heute ein häufig genutztes Einsatzmittel (Abb. 8). Feuerwehr, Polizei und Hilfsorganisationen nutzen kleine Multikopter mit Wärmebildkameras zum Aufspüren von Glutnestern und bei der Suche nach vermissten Personen. Luftgestützte Sensoren verhelfen den Einsatzkräften zu einer verbesserten Situations-einschätzung und können darüber hinaus auch in physikalisch, biologisch oder chemisch gesundheitsbedenklichen Umgebungen betrieben werden. Bei großflächigen Schadenslagen wie Überschwemmungen oder Erdbeben, können Luftbilder die Erstellung von Lagekarten unterstützen.

Drohneinsätze sind besonders flexibel: Auf bestehende Anlagen zum Start kann häufig verzichtet werden, nicht vorhandene oder zerstörte Verkehrsinfrastruktur am Boden ist kein Hindernis mehr. Drohnen erlauben auch den Transport von Hilfsgütern in Gebiete, deren Sicherheitslage bemannte Flüge nicht zulässt. Der Drohneinsatz wird in den nächsten Jahren auf allen Ebenen des Bevölkerungsschutzes zunehmend zur Selbstverständlichkeit – zum Teil ist er es heute schon.



Abb. 8: Humanitäre Hilfsgüterflüge mit dem DLR-superARTIS.

5.4 Medizinische Drohnenflüge

Drohnen sollen künftig auch für medizinische Flüge eingesetzt werden. Dazu laufen derzeit diverse Projekte in zahlreichen Städten. Beispielsweise liegen die drei Standorte des Städtischen Klinikums Braunschweig bis zu zwölf Kilometern voneinander entfernt. Medizinische Drohnen können dabei helfen, solche Entfernungen zu überbrücken und wichtige Hilfsmittel schnell vor Ort zu transportieren. Eine Einsatzmöglichkeit ist der schnelle Transport von Gewebeproben, sogenannte Schnellschnitte, zwischen Operationssälen und Pathologie während laufender Operationen. Für die Schnellschnitte werden normalerweise mehrere Proben an unterschiedlichen Stellen entnommen und zur Untersuchung in die Pathologie gebracht. Nur so kann festgestellt werden, ob sämtliches krankhaftes Gewebe während des Eingriffs entfernt wurde. Durch den Einsatz von Drohnen sollen Transportzeiten verkürzt und so das Risiko für schwerkranke Patienten während einer Operation reduziert werden.

Medizinische Drohneinsätze beziehen sich aber nicht nur auf den urbanen Raum, sondern sehen den Transport medizinischer Güter wie etwa Blutkonserven, seltene Medikamente oder Defibrillatoren in den ländlichen Raum vor.

5.5 Atmosphärenforschung

Im Bereich der Atmosphärenforschung füllen Drohnen eine Lücke: die Messung mit hoher räumlicher Auflösung auf kleinen Skalen von typischerweise horizontal wenigen Kilometern und vertikal bis zu einem Kilometer. Dies ist mit bisherigen Messmethoden nicht möglich. Damit kann die hochdynamische Entwicklung der unteren Luftschichten der Atmosphäre beschrieben werden, in der Wechselwirkungsprozesse zwischen Boden und Atmosphäre stattfinden. Das Anwendungsspektrum in der Atmosphärenforschung reicht von der regelmäßigen Messung von meteorologischen Parametern wie Temperatur, Luftfeuchte, Windrichtung und Windgeschwindigkeit über die Messung von Luftschadstoffen, Aerosol-Partikeln und Gasen bis hin zur Entnahme von Luftproben für die weitere Analyse im Labor (Abb. 9). Eine besondere Fähigkeit der Systeme ist dabei die Messung der kleinräumigen Verteilung und Variabilität, also auch der Überprüfung, wie repräsentativ andere Messungen für einen Standort sind.



Abb. 9: Quadrocopter MesSBAR der TU Braunschweig zur Schadstoffmessung

5.6 Inspektionsflüge

Infrastruktur ist in vielen Bereichen starken Belastungen ausgesetzt. Das gilt für Straßen, Schienen, Kräne, Brücken, Hochspannungsleitungen und viele weitere bauliche Anlagen. Nur wenn sichergestellt ist, dass sich ihr Zustand innerhalb gewisser Toleranzen bewegt, ist eine reibungslose Funktion gewährleistet. Eine regelmäßige Inspektion ist dafür notwendig, allerdings für Menschen oft mit ermüdenden oder gefährlichen Arbeitsbedingungen verbunden. Häufig erfordern konventionelle Inspektionen darüber hinaus die Unterbrechung des laufenden Betriebs, etwa durch Streckensperrungen oder Abschaltungen. Drohnen sind hier ein ideales Hilfsmittel: Ihr Blick aus der Luft ermöglicht Perspektiven, die Menschen selbst gar nicht oder nur mit viel Aufwand und Risiko erreichen können (Industriekletterer). Durch die Verwendung von Drohnen mit optischen Sensoren können ganze Anlagen millimetergenau dreidimensional rekonstruiert werden, teilweise sogar ohne Störung der Betriebsabläufe (Abb. 10). Dies erlaubt eine zuverlässige regelmäßige Inspektion, die so auch schleichende Veränderungen sichtbar machen kann.



Abb. 10: Drohne bei der Inspektion einer Hochbrücke, DLR

5.7 Landwirtschaft

Landwirtschaft bietet ein breites Potential an Nutzungsmöglichkeiten für Drohnen, die von der Suche nach Rehkitzten und anderen Lebewesen in zu mähenden Feldern, über das Monitoring des Wachstums der Feldfrüchte bis zum zielgerichteten Ausbringen von Düngemitteln reichen. Die Untersuchungen und Nutzung des Drohneneinsatzes in der Landwirtschaft haben bereits relativ früh begonnen, da das Risiko für Mensch, Tier und Drohne hier üblicherweise als sehr gering eingestuft werden kann. Bis zur voll umfänglichen Nutzung des Potentials von Drohnen in anderen landwirtschaftlichen Anwendungen sind jedoch auch hier noch entscheidende Schritte zu gehen.

Weitere sinnvolle und wichtige Anwendungen unbemannter Luftfahrzeuge finden sich in der Publikation des BMVI „Unbemanntes Fliegen im Dienst von Mensch, Natur und Gesellschaft“, Mai 2019, Berlin. Unter dem angegebenen Link ist das Dokument abrufbar:

https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Technologie/drohnen-unbemanntes-fliegen.pdf?__blob=publicationFile&y=6

6. Gesellschaftliche Akzeptanz

6.1 Einstellung gegenüber Drohnen

Im Jahr 2018 ergab eine repräsentative Befragung des DLR mit 832 Teilnehmern, dass in der Gesellschaft verschiedene Bedenken in Bezug auf Drohnen existieren (Abb. 11). So befürchtet zum Beispiel ein Großteil der Bevölkerung, dass Drohnen für kriminelle Zwecke missbraucht, die Privatsphäre verletzt oder Schäden durch Unfälle und Abstürze verursacht werden könnten. Zudem ergab die Studie, dass die Akzeptanz von Drohnen stark vom Einsatzzweck abhängt. Drohnen im Bereich der Rettungsmobilität oder Forschung erfahren einen höheren Zuspruch als bei ihrem Einsatz im Paket- oder Personentransport. Daher ist es wichtig, genauer zu forschen, warum diese Aufgaben bisher wenig akzeptiert werden. Weiterhin gilt es zu untersuchen, welche Maßnahmen zu einer größeren Akzeptanz und Nutzungsbereitschaft beitragen könnten.

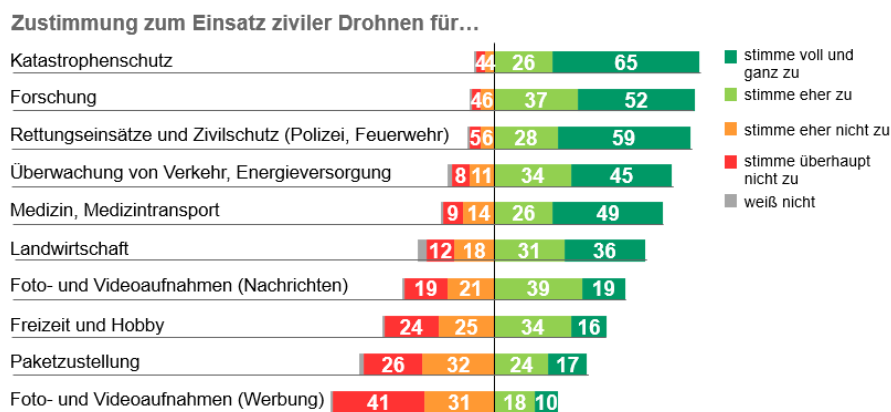


Abb. 11: Ergebnis einer Telefonbefragung des DLR 2018 zur Zustimmung der Bevölkerung zu verschiedenen Einsatzzwecken von Drohnen. Angaben in Prozent. Zahlen für „verweigert / weiß nicht“ sind ausgeblendet.

6.2 Akustische Belästigung

Ein wesentlicher Faktor, der einen Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz hat, ist Fluglärm. In einer telefonischen Umfrage des DLR von 2018 gaben 52 Prozent der Befragten an, bezüglich der Lärmentwicklung durch Fluggeräusche besorgt zu sein. Um die genaue Lärmwirkung von Drohnen auf die Bevölkerung zu erfassen, sind psychoakustische Untersuchungen notwendig. Diese könnten beispielsweise der Frage nachgehen, wie der Fluglärm in ländlichen und städtischen Gebieten wahrgenommen wird und wie er mit anderen Umgebungsgeräuschen

zusammenwirkt. Da in Städten mehr akustische Reize vorhanden sind als im ländlichen Raum, stellt sich auch die Frage, ob der Fluglärm von Drohnen in größeren Städten aufgrund einer anderen Geräuschkulisse (z.B. Autoverkehr) untergeht und dadurch weniger auffällt oder ob dieser dazu führt, dass sich die akustische Belastung für die Einwohner weiter erhöht.

6.3 Visuelle Verschmutzung

Fliegende Drohnen in Städten erzeugen nicht nur akustische, sondern auch visuelle Reize, die einen Einfluss auf die gesellschaftliche Akzeptanz haben. Es gibt die Befürchtung, dass durch Drohnen der Himmel zu voll werden könnte (Abb. 12). Daraus ergibt sich die Frage, ab welcher Drohnenanzahl der Himmel als überfüllt erlebt wird und in Folge dessen die Akzeptanz in der Bevölkerung sinkt. Hierzu sind genauere Untersuchungen notwendig. In einer Virtual-Reality-Simulation wurde Versuchspersonen ein städtisches Szenario gezeigt, in dem die Anzahl fliegender Drohnen variiert wurde. Erfasst wurde, wie sich diese auf das subjektive Wohlbefinden auswirkte. Es zeigt sich eine gewisse Korrelation dahingehend, dass ein höheres Aufkommen von Drohnen als störender empfunden wurde.

Die beschriebenen Forschungsergebnisse zeigen, wie wichtig es ist, die Bevölkerung von Anfang an mit einzubeziehen – sowohl in den Integrationsprozess von Drohnen in den Luftverkehr als auch bei der Entwicklung von U-Space-Konzepten. Zum einen sollten Erkenntnisse bisheriger Studien in der Konzeption berücksichtigt sowie verschiedene Akzeptanzfaktoren wie die visuelle und akustische Belastung durch Drohnen noch detaillierter erforscht werden. Zum anderen sollte eine frühzeitige und umfangreiche Aufklärung der Gesellschaft über neue Entwicklungsschritte im Bereich der Drohnenutzung sichergestellt werden.



Abb. 12: Virtual-Reality-Studie des DLR im Projekt City-ATM

7. Forschungsprojekte in Braunschweig

5G-Reallabor für zukünftige Mobilfunkstandards

Das 5G-Reallabor verfolgt die Erforschung und lebendige Darstellung des praxisnahen Bedarfs und Einsatzmöglichkeiten des 5G-Mobilfunkstandards als Schlüsseltechnologie im Kontext einer Smart Region/Smart City. Das DLR und andere Forschungseinrichtungen werden für den Aufbau eines offenen 5G-Reallabors in der Region Braunschweig-Wolfsburg gefördert. Die DLR-Institute für Flugführung, Verkehrssystemtechnik und Flugsystemtechnik arbeiten hierbei zusammen an der Einbindung von Drohnen in künftige Mobilfunksysteme. Rettungsdrohnen können dann weiträumig und sicher über 5G ferngesteuert werden oder mit ihrer Umwelt interagieren. Unfallstellen können somit abgesichert und der Ausbau des vernetzten Straßensystems gefördert werden.

City-ATM (Flugverkehrskontrolle in städtischer Umgebung)

Im Projekt City-ATM wird ein Konzept für die Integration von neuen Luftraumteilnehmern wie unbemannte Luftfahrzeuge oder Lufttaxis in den unkontrollierten Luftraum erarbeitet. Verschiedene technische und operationelle Aspekte sollen betrachtet und hinsichtlich ihres Risikos analysiert und bewertet werden. Am Ende soll das Konzept mit Flugversuchen demonstriert werden (Abb. 13).



Abb. 13: Drohnenformation vor dem Flughafengebäude Cochstedt, DLR

ALAADy – Automated Low Altitude Air Delivery

Unbemannte Luftfahrzeugsysteme für den Transport einzusetzen, ist bereits Wirklichkeit. Systeme mit wenigen Kilogramm Nutzlast sind kommerziell verfügbar. Einige wenige Betreiber haben bereits mehrere tausend Flugstunden mit solchen Systemen absolviert. Für den Einsatz von schweren Drohnen mit mehreren 100 Kilogramm Gewicht gibt es in der zivilen Luftfahrt bisher keine Erfahrung in Europa. Deshalb untersucht das DLR im Projekt ALAADy Frachtdrohnen mit einer Nutzlast von einer Tonne (Abb. 14). Die Anforderungen von SORA als Nachweismethode für den sicheren Betrieb werden untersucht. Eine Vielzahl von Perspektiven werden dazu in ALAADy erforscht – von der Wirtschaftlichkeit bis zur technischen Umsetzung. Dabei spielen Fragen der Luftraumintegration, der Datenlinks und Luftfahrzeugkonfiguration eine ebenso wichtige Rolle wie Technologien der sicheren Autonomie. In den vergangenen Jahren wurde ein 450 Kilogramm schwerer Tragschrauber zu einer Transportdrohne als Technologiedemonstrator umgebaut und automatisiert (Abb. 14). Dieses Konzept wird für den Betrieb außerhalb der Sichtweite derzeit erweitert.



Abb. 14: ALAADy Demonstrator im Flug, DLR

HAP - Hochfliegende unbemannte Plattform

Mit dem 2018 gestarteten Projekt HAP (High Altitude Platform) möchte das DLR umfassendes Know-how für die Realisierung leistungsfähiger, hochfliegender Solarflugzeuge aufbauen und bereitstellen (Abb. 15). Dafür werden die Plattform selbst sowie die notwendige Bodenstation und bis zu fünf Kilogramm schwere Nutzlasten zur Erdbeobachtung entwickelt. Insbesondere die langandauernde Stationierung der Plattform auf 20 Kilometer Höhe stellt eine wesentliche Herausforderung dar. Solarzellen und Batterien müssen mit extremem Leichtbau und ausgeklügeltem Wärmemanagement kombiniert werden. Nur so ist ein Übernachtsflug möglich bei sehr geringer Luftdichte und in einem weiten Temperaturbereich zwischen bis zu +40° Celsius bei intensiver Sonneneinstrahlung bis hin zu -80° Celsius bei Nacht in großer Höhe.



Abb. 15: Darstellung der DLR-HAP

AeroInspekt – Inspektion von Schienenanlagen in Häfen

Im Forschungsprojekt AeroInspekt hat die Technische Universität Braunschweig ein drohnenbasiertes automatisches Messsystem entwickelt, mit dem auch kleinste Verformungen einer industriellen Schienenanlage inspiziert und vermessen werden können (Abb. 16). Von Bord einer Drohne aus werden mit Hilfe einer hochauflösenden Kamera stark überlappende Luftbilder aufgenommen, aus denen anschließend die dreidimensionale Schienenstruktur millimetergenau rekonstruiert wird. Dabei kann die Vermessung im laufenden Betrieb erfolgen, da die Flugplanung direkt auf die Bewegung der Kräne reagiert.

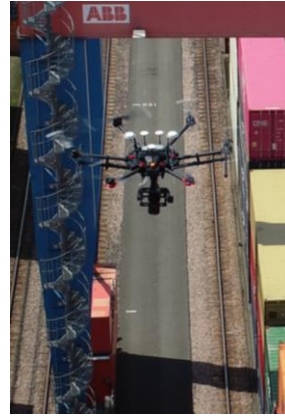


Abb. 16: Hexakopter der TU Braunschweig bei der Schienenvermessung

Fazit

Das vorliegende Positionspapier befasst sich mit der Thematik des unbemannten Fliegens in der Luftfahrt. Bereits seit Jahrzehnten werden Drohnen in der Forschung in Einzelfällen eingesetzt. Durch die Miniaturisierung und Automatisierung im Bereich der Elektronik und Sensorik sind sie gleichzeitig als Hobbyfluggeräte beliebt. Insgesamt sind Drohnen heute bereits in einem sehr breiten Spektrum im Einsatz. Aus der Luftfahrt sind sie schon jetzt nicht mehr wegzudenken. Längst sind Drohnen über den Status eines Hobbys oder als Gegenstand bloßer wissenschaftlicher Fragestellungen hinausgewachsen. Ihre betriebliche Nutzung steht dagegen erst am Anfang. Drohnen werden künftig immer mehr zu einem unverzichtbaren Werkzeug für zahlreiche Anwendungen.

Der Markt für Drohnenanwendungen und -entwicklung birgt enormes Potential. Schätzungen gehen von einem Wert von 80 Mrd. Euro Umsatz in den nächsten zehn Jahren bis hin zu der Summe von 1,3 Bill. Euro bis 2040 aus¹. Deshalb hat sich in den letzten Jahrzehnten ein äußerst dynamischer Innovationsprozess in der Entwicklung von Drohnen und den Systemen rund um den Betrieb der Drohne entfaltet, wodurch sich wiederum eine Vielzahl neuer Anwendungsfelder ergeben hat.

Das führt zu einer besonders innovationsfördernden Mischung aus jungen und begeisterungsfähigen sowie sehr erfahrenen Spezialisten der Ingenieurwissenschaften, Informatik usw., die besonders innovationsfördernd wirkt. Positiv wirkt sich zudem aus, dass Drohnen im Vergleich zu bemannten Fluggeräten sehr günstig beschafft und betrieben werden können. So beschäftigen sich inzwischen Fachrichtungen mit Drohnen, die zuvor kaum Berührungspunkte mit der Luftfahrt hatten. Als Beispiel sei hier die künstliche Intelligenz genannt, die für die Automatisierung des Betriebs von Drohnen eine wesentliche Rolle spielt. Sie spielte bisher in der Entwicklung von bemannten Luftfahrzeugen keine Rolle. In der Zukunft ist es aber denkbar, dass die anhand von Drohnen erzielten Ergebnisse hierzu durchaus auf die klassische Luftfahrt übertragen werden können.

¹ ... mit Drohnen - Unbemanntes Fliegen im Dienst von Mensch, Natur und Gesellschaft. Herausgeber: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Stand Mai 2019.



Herausgeber

Niedersächsisches Forschungszentrum für Luftfahrt

Technische Universität Braunschweig

Hermann-Blenk-Str. 42

38108 Braunschweig

Telefon +49 531 391-9821

nfl@tu-braunschweig.de

www.tu-braunschweig.de/nfl

Autoren

Lothar Bertsch/Ulf Bestmann/Johann Dauer/Jörg Dittrich/Thomas Feuerle/Dagi Geister/Peter Hecker/Christoph Keßler/
Bernd Korn/Astrid Lampert/Maria Stolz/Gordon Strickert

Redaktion

Kai Höfner/Christoph Keßler/Astrid Lampert/Rolf Radespiel/Lorenz Tichy

