



Themenkurzprofil Nr. 74
November 2024

Flugtaxis – bemannte, voll-elektrische Senkrechtstarter (Aktualisierung 2024)

Marc Bovenschulte | Tobias Hungerland

In Kürze

Bemannte, vollelektrisch angetriebene senkrecht startende und landende Fluggeräte (electric Vertical Take-off and Landing – eVTOL) werden umgangssprachlich oftmals als Flugtaxis bezeichnet, wobei sie Kleinflugzeuge und Helikoptern viel mehr ähneln als Autos. Nachdem die vergangenen Jahre im Zeichen der technischen Entwicklung und Erprobung von Prototypen standen, befinden sich nun erste Flugtaxis an der Schwelle zur Zulassung und kommerziellen Nutzung. Aus diesem Grund wurde 6 Jahre nach Erscheinen der ersten Fassung des Themenkurzprofils (TAB 2018) vom Bundestag erneut eine Behandlung des Themas beauftragt. Dabei sollten auch die zukünftigen Nutzungsperpektiven von Regionalflughäfen in den Blick genommen werden. Die bisherige Fassung des Themenkurzprofils wurde im Zuge der vorliegenden Aktualisierung modifiziert und ergänzt.

Gesellschaftliche Relevanz entfaltet das Thema vor allem als Teilbereich im Kontext eines um-

fassenden Mobilitätsbedürfnisses sowie der Verkehrswende hin zu einem emissionsarmen Individualverkehr. Elektrifizierte, senkrecht startende und perspektivisch auch automatisierte Fluggeräte stellen in einem zukünftigen Verkehrsmix mit großer Wahrscheinlichkeit aber nur ein Nischenangebot in Premiummärkten dar. Wenngleich damit zu rechnen ist, dass zukünftig immer mehr eVTOL unterwegs sein werden, bestehen erhebliche Herausforderungen für einen erfolgreichen Betrieb. Dies betrifft in erster Linie regulatorische Fragestellungen, insbesondere nach der Luftsicherheit bzw. der Regulierung des Luftverkehrs. In Deutschland fällt darunter unter anderem die Flugplatzpflicht. Zudem muss noch der Nachweis für wirtschaftlich tragfähige Betreiber- und Geschäftsmodelle jenseits von Prestigeprojekten erbracht werden. Auch umweltpolitische Fragen nach neu entstehenden Belastungen (z. B. Lärm) im Zuge einer Urban Air Mobility bedürfen der Klärung.

Hintergrund und Entwicklungsstand

Bemannte und vollelektrische Senkrechtstarter erfahren seit einigen Jahren unter der umgangssprachlichen Bezeichnung Flugtaxis eine hohe mediale Aufmerksamkeit (Martin-Jung 2018; Schubert 2018). Sie werden mit dem Anspruch entwickelt, die Elektromobilität in die Luft zu bringen, indem sie auf den Entwicklungen einer Elektrifizierung von Fahrzeugen und deren zunehmender Autonomiegrade bei der Steuerung aufsetzen.

Die in der Entwicklung befindlichen Fluggeräte verfügen über mehrere charakteristische technische Merkmale. In der Regel sollen die Fluggeräte vertikal starten und landen (Vertical Take Off and Landing – VTOL), um den Flächenbedarf für die Start- und Landeinfrastruktur zu reduzieren. Im Gegensatz zu Hubschraubern werden die neuartigen Fluggeräte aber von einer Vielzahl kleiner Propeller angetrieben, die jeweils über kleine Elektromotoren verfügen. Die Energieversorgung erfolgt dabei mittels Batterien (Krüger 2017). Die Propeller für den Antrieb werden entweder fest verbaut oder sind schwenkbar (Wille 2018, S. 3). Zur Erkennung von Position, Geschwindigkeit und eventuellen Hindernissen werden die Fluggeräte mit Kameras, Sensoren und Radar ausgestattet. Entsprechende Steuerungssoftware soll zukünftig auch einen autonomen Betrieb ohne Pilot/innen ermöglichen (Wille 2018, S. 2). Redundante Systeme sollen die notwendige Sicherheit garantieren (Krüger 2017). Eine umfassende Darstellung der Systemkomponenten für das autonome Fliegen bieten Xiang et al. (2024).

Insgesamt sind in vier Teilbereichen technologische Weiterentwicklungen notwendig, um das bisher erreichte Prototypenstadium zu überwinden bzw. die Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Gesamtsystems einer auf eVTOL basierenden Urban Air Mobility (UAM) zu erhöhen: automatisierte Systeme zur Steuerung von Fluggeräten, elektrische Antriebstechnologien, eine Serienfertigung von Leichtbauteilen sowie die Entwicklung bzw. Anpassung entsprechender unterstützender Infrastrukturen (z. B. Start- und Landeplätze, Wartungs- und Versorgungsinfrastrukturen etc.).

Im Bereich autonomer Systeme herrscht allgemein das Bestreben nach zunehmender Automatisierung von Verkehrsträgern. Dies umfasst die Entwicklungen rund um selbstfahrende Autos wie auch vergleichbare Bestrebungen im Güterverkehr auf der Straße, der Schiene und dem Seeweg. Die Voraussetzung für das verstärkte Potenzial mit Blick auf die Nutzung automatisierter Fluggeräte für den Personenverkehr bildeten Innovationen im Bereich der Dronentechnologie (Heumer 2018; Stüber 2018b). Bei der Entwicklung elektrisch angetriebener Flugtaxis wird die höchste Automatisierungsstufe (Level 5 – führerlose Vehikel) angestrebt, die vom Start bis zur Landung

alle Funktionen übernimmt (BMVI 2015, S. 5 f.; VDA o. J. S. 15); da das vollautomatisierte Fliegen jedoch hohe technische Anforderungen stellt (Xiang et al. 2024), werden zudem Konzepte mit einer Fernsteuerung durch Pilot/innen entwickelt und erprobt (Bellamy III 2023). Der vollautomatisierte Flugbetrieb funktioniert nicht ohne Vernetzung, d. h. die Kommunikation zwischen Flugzeugen untereinander, aber auch zur unterstützenden Infrastruktur. Die Voraussetzung für eine lückenlose Vernetzung ist ein entsprechend leistungsstarkes Funknetz (BMVI 2015, S. 14 f.).

1. Im Bereich elektrischer Antriebstechnologien finden Weiterentwicklungen vor allem durch eine Steigerung der Motorenleistung und eine Verbesserung der Energieversorgung durch neue Batterietechnologien statt. Bei elektrischen Motoren wird sowohl das Gewicht verringert als auch der Wirkungsgrad erhöht (Calandrelli 2016). Siemens hat Technologien entwickelt, mit denen ein Motor bei einem Gewicht von 50 kg eine elektrische Dauerleistung von 260 kW liefert, was einer Verfünffachung der Leistung vergleichbarer Antriebe gleichkommt und etwa der Hälfte der Leistung entspricht, die benötigt wird, um innerhalb Deutschlands Strecken in Kleinflugzeugen zurücklegen zu können (Buck 2015). Neben der Leistungssteigerung liegt ein Entwicklungsschwerpunkt auf einer Erhöhung der Zuverlässigkeit der Motoren, was eine wichtige Voraussetzung für die Zulassung der eVTOL ist (Tallericco 2021). Für die Weiterentwicklung von Batterietechnologien gilt ein ähnliches Bestreben. Das Gewicht der Batterien soll reduziert werden, während gleichzeitig die Kapazität/Leistungsdichte erhöht wird. Daneben sollen die Lebensdauer der Batterien verlängert und die Ladezeiten verkürzt werden. Im Fokus steht diesbezüglich weiterhin die Weiterentwicklung der Lithium-Ionen-Batterie (Thomson et al. 2017, S. 16 f.). Neben der Versorgung der elektrischen Motoren durch Batterien wird auch an anderen Formen der Energieversorgung geforscht. Dazu zählt z. B. der Einsatz von Solarpaneelen auf der Außenhaut der Fluggeräte (Amos 2016). Hier ist in Form eines ultraleichten Fluggeräts ein Prototypenstadium erreicht worden (NASA 2015). Auch die Verwendung von Brennstoffzellen zur Energieversorgung hat das Prototypenstadium erreicht, wie in einem Projekt des DLR gezeigt werden konnte (Dahlmann 2017). Wenngleich auch hier zukünftig Fortschritte zu erwarten sind, spielt die Nutzung von Wasserstoff und Brennstoffzellen bei den aktuell weit entwickelten eVTOL noch keine Rolle.
2. Eine serielle Leichtbauweise soll dabei helfen, das Eigengewicht von Flugzeugen und damit den Energiebedarf zu reduzieren. Die Realisierung mitunter bionisch inspirierter Bauweisen und die Verwendung neuer Materialien sowie die Nutzung neuer Gestaltungsmöglichkeiten für das aerodynamische Verhalten werden durch den Einsatz additiver

Fertigungsverfahren zunehmend ermöglicht (Ensthaler et al.2014, S. 7 f.; Expertenkommission Forschung und Innovation 2015, S. 70;).

3. Unterstützende Infrastrukturen stehen im Gegensatz zu den bislang genannten Entwicklungen weniger im Fokus der Erstausrüster (Original Equipment Manufacturer – OEM), wenngleich sie bisweilen konzeptionell mitgedacht werden. Der notwendige Gestaltungsbedarf ergibt sich aus dem angestrebten Einsatzgebiet für Flugtaxis. In innerstädtischen Gebieten von Großstädten stehen in der Regel keine Flächen für Start- und Landebahnen zur Verfügung, die konventionelle Starts und Landungen erlauben. Doch auch die Einrichtung von Plätzen für vertikale Starts und Landungen (Vertiports) sowie von unterstützenden Systemen wie Energieversorgung, Wartung, Instandsetzung etc. erfordert Flächen, die entsprechend erschlossen werden müssen (z. B. Dächer von Gebäuden in Anlehnung an Heliports). Schätzungen zufolge liegen die für eine solche Infrastruktur notwendigen Investitionen deutlich unter den Kosten, die für die Konstruktion neuer Bahnhöfe oder größerer Flughäfen erforderlich wären (manager magazin 2017).

Weltweit arbeiten schätzungsweise rund 200 Akteure an Konzepten elektrisch betriebener Senkrechtstarter. Neben zahlreichen Start-ups beteiligen sich 72 % der 25 größten Flugzeughersteller und 64 % der 25 größten Zulieferer an irgendeiner Form von Aktivität im Bereich der fortschrittlichen Luftmobilität (Thomases 2023). Der Kreis erwähnenswerter Akteure in Deutschland setzt sich aus etablierten Großunternehmen und kleinen Start-ups zusammen. Siemens fokussiert sich auf die Entwicklung von Elektromotoren (Buck 2015) und kooperiert

dabei mit Airbus und Rolls Royce, auch im Bereich hybrider Antriebsstränge, also der Kombination aus Elektromotoren und kerosinbetriebenen Turbinen zur Stromerzeugung (Dilba 2018; Sorge 2017). Das Airbus-Projekt Vahana, als elektrisch angetriebenes Kleinflugzeug konzipiert, konnte innerhalb von 2 Jahren das Prototypenstadium erreichen (Haridy 2018). 2019 wurde die Entwicklung jedoch eingestellt. Auch der CityAirbus von Siemens und Airbus absolvierte 2019 seinen Erstflug (Parson 2019) und wird seitdem als CityAirbus NextGen weitergeführt (Werwitzke 2024).

Ebenso hat der Automobilkonzern Audi das Thema für sich entdeckt und investiert zusammen mit Italdesign und Airbus in die Forschung und Entwicklung einer Passagierkabine, die entweder an ein Auto oder ein Fluggerät gekoppelt werden kann (Becker 2018). International sind insbesondere Unternehmen aus den USA und China, aber auch aus anderen Ländern wie Großbritannien oder Brasilien sehr aktiv; dazu gehören unter anderem Boeing, Joby Aviation, Archer Aviation, Vertical Aerospace, EHANG und Embraer/Eve Air Mobility.

Während sich die Aktivitäten großer Unternehmen oft auf einzelne Komponenten beziehen, existiert weltweit auch eine Reihe von Start-ups, die eigene Fluggeräte entwickeln. In Deutschland haben in den letzten Jahren die Unternehmen Lilium Aviation (Weßling bei München) und Volocopter (Bruchsal bei Karlsruhe) für Aufsehen gesorgt (siehe hierzu z. B. Becker 2018; Krüger 2017). Beide Anbieter entwickeln eigene Konzepte und werden dabei von verschiedenen Akteuren finanziell unterstützt: Volocopter erhielt vom Daimler-Konzern rund 30 Mio. Euro (Becker 2018) und kooperiert mit dem Prozesorhersteller Intel (Stüber 2018a). In das Unternehmen Lilium



haben u. a. das chinesische Technologieunternehmen Tecent und das Risikokapitalunternehmen Atomico im September 2017 mehr als 90 Mio. US-Dollar investiert (ca. 80 Mio. Euro; Becker 2018). Das Unternehmen beschäftigt mittlerweile mehr als 900 Mitarbeiter/innen und strebt für das Jahr 2025 die abschließende Zulassung durch die europäische und US-amerikanische Luftfahrtbehörden an (Magenheim-Hörmann 2023). Die beiden Start-ups unterscheiden sich insbesondere mit Blick auf die Experimentierräume. Lilium kooperiert mit den zuständigen Sicherheitsbehörden in Bayern, während Volocopter öffentlichkeitswirksam Testflüge in Kooperation mit den zuständigen Behörden in Dubai absolviert (Krüger 2017).

Für die Weiterentwicklung einzelner Technologien bzw. integrierter Konzepte in Deutschland und Europa sorgt eine entsprechende FuE-Förderung: Die strategische Forschungs- und Innovationsagenda des Europäischen Luftfahrtbeirates (ACARE 2022) und die dazu komplementäre Luftfahrtstrategie der Bundesregierung (BMWi 2014) bilden den Rahmen der entsprechenden Forschungsprogramme. Auf europäischer Ebene ist seit Ende 2014 das Vorhaben myCopter abgeschlossen, in dem umfangreiche konzeptionelle Grundlagen für einen individuellen (Kurzstrecken-)Luftverkehr durch ein internationales Konsortium erarbeitet und erste technologische Entwicklungen demonstriert wurden. Das ebenfalls europäische Vorhaben ASTRAEA befasste sich mit Aspekten rund um die Automatisierung unbemannter Fluggeräte und deren Einsatz für wirtschaftliche Zwecke (Castle et al. 2017, S. 15). Im Rahmen der Smart-Cities-Initiative der EU wurden Modellregionen ausgewählt, die als Experimentierräume Teil des Vorhabens „Urban Air Mobility“ werden, um den Einsatz elektrifizierter Senkrechtstarter zu erproben (EASA o. J.). Hamburg ist Mitte 2018 der Initiative beigetreten (Hamburg Aviation e. V. 2018); auch Ingolstadt hatte sich beworben, um das von Audi entwickelte Konzept zu testen (Magenheim-Hörmann 2018).

Neben technischen Weiterentwicklungen dürfte zukünftig vor allem die Integration autonomer Flugtaxis in bestehende Verkehrskonzepte eine entscheidende Rolle spielen, etwa als Zubringer zu Flughäfen. Eine nennenswerte Weiterentwicklung der zentralen technischen Komponenten ist für die nächsten Jahre zu erwarten, wobei die Einschätzungen von Expert/innen zum Zeitpunkt der Realisierung zwischen „kurzfristig in den kommenden Jahren“ und „eher mittelfristig bis 2040“ schwankt (Dilba 2018; Sorge 2017). Ein wichtiges Entwicklungsziel ist zurzeit die Erhöhung der Reichweite, die u. a. durch eine Leistungsverstärkung der Antriebe und eine Verbesserung der Energieversorgung durch innovative Batterietechnologien erreicht werden soll. Damit verbunden wäre eine mögliche Ausweitung des Einsatzfeldes jenseits urbaner Ballungsgebiete: Einschätzungen der Hersteller gehen von bis zu 300 km Reichweite mit einer Batterieladung aus.



Aus dem Anspruch an eine autonome Mobilität der Flugtaxis resultiert eine hohe Anforderung an die Gestaltung der Sicherungs- und Steuerungsarchitektur. Zum einen gilt es, von vornherein gefährliche Situationen zu vermeiden, indem die Systeme nur bei entsprechenden Witterungsbedingungen und bei Tage genutzt werden können. Überdies muss aber ebenso sichergestellt werden, dass die Flugtaxis bei Problemen nicht abstürzen, sondern sicher notlanden. Tatsächlich sind sowohl die Systeme von Volocopter als auch Lilium hochgradig redundant ausgelegt. So verfügen sie über eine große Anzahl voneinander unabhängiger Batteriezellen und über mehrere eigenständige Motoren, sodass bei Ausfall einzelner Elemente immer noch eine sichere Landung gewährleistet werden kann. Das System von Lilium hat zudem einen Fallschirm, mit dem das ganze Fluggerät zur Erde gleiten kann (ähnliche Systeme gibt es schon seit einigen Jahren für leichte Sportflugzeuge). Trotz dieser Sicherungsmaßnahmen dürfte eine große Herausforderung darin bestehen, psychologische Hürden bei zukünftigen Nutzer/innen zu überwinden. Umfragen nach der Akzeptanz, etwa Passagier/in in einem autonom gesteuerten Flugzeug zu sein, zeigen, dass diese vor allem in Deutschland kaum vorhanden ist (Castle et al. 2017, S. 28 f.). Auch sind mit dem angestrebten hohen Automatisierungsgrad und der Vernetzung der Flugtaxis Bedenken verbunden, die individuellen Bewegungsfreiheiten von Menschen einzuschränken (Lobo 2017).

Gesellschaftliche und politische Relevanz

Vor dem Hintergrund eines weiter wachsenden Mobilitätsbedürfnisses bzw. einer steigenden Mobilitätsnachfrage werden neue Konzepte und Lösungen zur Gestaltung zukünftiger Mobilitätssysteme erforderlich. Es erscheint naheliegend, dass eine Verkehrswende, die auch das Erreichen ökologischer Ziele sicherstellen soll, nicht nur auf der Modernisierung existierender Verkehrsträger und deren Infrastrukturen, sondern auch auf neuartigen Konzepten beruhen wird. Flugtaxis gewinnen in diesem Zusammenhang als Teilbereich innerhalb der Verkehrswende an politischer Relevanz.

So ist davon auszugehen, dass angebotsseitig durch die Privatwirtschaft neuartige Konzepte entwickelt werden, wie es sich bei den Flugtaxis bereits abzeichnet, umgekehrt aber auch eine Nachfrage nach alternativen Verkehrsmitteln bei den Verbraucher/innen entsteht, mit denen sich die individuellen Belastungen wie lange Reisedauer, Staus, Sicherheitsrisiken etc. reduzieren lassen – und die dem Wunsch nach mehr Individualität und Flexibilität Rechnung tragen.

Mit elektrischen, ggf. automatisierten Fluggeräten könnte ein zusätzliches, attraktives Mobilitätsangebot entstehen, das den innerstädtischen Verkehr in spezifischen Teilbereichen entlastet und zur Verbesserung der Lebensqualität in Großstädten beiträgt. Gleichzeitig könnte auch das städtische Umland flexibler erreichbar werden. Da die elektrischen Flugtaxis mit Strom aus regenerativen Quellen betrieben werden sollen, würde somit die Luftqualität in Großstädten nicht zusätzlich belastet; wohl aber ist die Entstehung neuer Lärmbelastungen kritisch zu bewerten (Wille 2018, S. 3).

Elektrifizierte, senkrecht startende (automatisierte) Fluggeräte stellen in einem zukünftigen Verkehrsmix sicherlich nur ein Nischenangebot dar. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann auch mittelfristig noch nicht von einer hohen Nachfrage ausgegangen werden. Zudem bestehen für den Betrieb von eVTOL und einer Urban Air Mobility insgesamt neben den genannten auch infrastrukturelle, wirtschaftliche und regulatorische Herausforderungen.

Infrastruktur

Ausgehend von den laufenden Entwicklungen zeigt sich, dass sich Flugsicherheitsbehörden intensiv mit der zukünftigen Regulierung des Luftraums auseinandersetzen müssen, weil davon auszugehen ist, dass künftig mehr Fluggeräte unterwegs sein werden (Castle et al. 2017, S. 26 f.). Maßgeblich für den Erfolg von Flugtaxis wird zudem die Weiterentwicklung einer unterstützenden Infrastruktur sein. Dazu gehören neben Start- und Landeplätzen auch entsprechende Wartungsinfrastrukturen. Konzeptstudien der NASA haben verschiedene Ansätze für derartige Infrastrukturen skizziert, in denen bereits existierende Verkehrsinfrastrukturen integriert werden könnten, entweder in unmittelbarer Nähe von Straßen oder aber – vergleichbar mit Helikopterlandeplätzen – auf Gebäuden (Holden/Goel 2016, S. 50 ff.). Damit verbunden ist die Klärung bislang offener rechtlicher Fragen, insbesondere die der Nutzung des Luftraums, wenn sich dieser entweder über öffentlichem oder privatem Gelände befindet. Nach jetziger Regelung müssten Flugtaxis von einem Flugplatz aus betrieben werden, was ihre Nutzung sehr stark einschränken würde (geregelt nach § 25 Absatz 1 des Luftverkehrsgesetzes). Insgesamt gibt es nur wenige Länder, u. a. die Schweiz, die wie Deutschland eine Flugplatzpflicht haben. Mit dem Aktionsplan „Unbemannte Luftfahrtssysteme und innovative Luftfahrtkonzepte“ der Bun-

desregierung (BMVI 2023) und der komplementären „AAM-Roadmap – Aus Deutschland für Deutschland“ der Industrie (BDLI 2023) wurden in der Zwischenzeit die Ziele und Perspektiven für eVTOL aus politischer und Branchensicht beschrieben. Dementsprechend heißt es dazu im genannten Aktionsplan der Bundesregierung: „Für den Betrieb von Flugtaxis müssen speziell im urbanen Raum Start- und Landeplätze vorgesehen werden, um einen geordneten Personenverkehr zu gewährleisten. Offen ist, welche Anforderungen eVTOL an die Flugplatzinfrastruktur stellen. Gleichzeitig sollte aber für Erprobungen und möglicherweise auch im Regelflugbetrieb die Nutzung der vorhandenen Flugplatzinfrastruktur geprüft werden“ (BMVI 2023, S. 37).

Für den Flugverkehr von eVTOL, die in ihrer Flugweise Helikoptern gleichen, besteht in Deutschland aufgrund der Flugplatzpflicht gegenwärtig nicht die Möglichkeit, auf beliebigen freien Plätzen zu starten und zu landen, wie dies der US-amerikanisch geprägten Vision der UAM entspricht. Damit scheiden auch Gebäudedächer als flexibel nutzbare Anflugstellen vielfach aus. Im Sinne eines zugelassenen Vertiports müssen diese Anflugstellen baulich in der Lage sein, die bis zu 2,5 t schweren Fluggeräte zu tragen (bei der Landung können leicht Stoßbelastungen in der Größenordnung von 3 bis 4 t entstehen), es müssen eine Ladeinfrastruktur und Notfalleinrichtungen vorhanden sein (Was passiert, wenn eine mehrere hundert kg schwere Batterie auf dem Dach Feuer fängt?), ebenso eine zumindest minimale Sicherheitskontrolle der Passagiere, um etwa Anschläge und gezielt herbeigeführte Abstürze/Kollisionen zu vermeiden. Damit relativiert sich die mit der Bezeichnung Flugtaxi suggerierte Flexibilität von eVTOL deutlich. Vielmehr dürfte es sich in erster Linie um Shuttledienste handeln, bei denen eine luft- und landseitige Einbindung von eVTOL in bestehende (Regional-)Flughäfen naheliegend (BDLI 2023, S. 7 f.) oder aber ein eigenständiger Vertiport nötig wäre, der neben den genannten Installationen auch Platz für zwei oder drei eVTOL und Aufenthaltsräume für die Pilot/innen etc. bieten muss. Hier wird rasch die Fläche eines halben oder auch ganzen Fußballfeldes erreicht. Diese Randbedingungen gehen einher mit der vergleichsweise geringen Reichweite der eVTOL. Diese liegt für die gängigen Multicopter (beispielsweise Volocopter) bei 30 bis 50 km (mögliche Nutzung als Cityhopper). Bei Systemen, die sich mittels Tragflächen den Strömungsauftrieb zunutze machen – beispielsweise Lilium –, können es auch 300 km Reichweite sein, was deren Nutzung für den interregionalen Verkehr ermöglichen würde. Unabhängig von der spezifischen Bauart ist das charakteristische vertikale Starten und Landen die energieintensivste Art des Fliegens.

Solange die Flugplatzpflicht nicht aufgehoben wird und auch innerstädtische Vertiports umfassend ausgestattet und genehmigt werden müssen, sind in Deutschland nur Flüge zwischen

diesen genannten Punkten möglich, was eine Individualisierung des Lufttransports stark einschränkt. Der Kerngedanke der UAM als Verkehrsmittel für Ballungsräume, das beispielsweise Vororte, Rand- und Wohngebiete mit dem Stadtzentrum verbindet, scheint somit nur im Sinne einer Verbindung zwischen Verkehrsknotenpunkten möglich (Hubkonzept, ähnlich einer Schnellbahn). Für weitere Strecken scheinen ohnehin nur jene eVTOL geeignet zu sein, die Tragflächenstrukturen und somit den energiesparenden Strömungsauftrieb im Horizontalflug nutzen. Hierbei sind über zentrale Vertiports auch direkte Verbindungen von Stadt zu Stadt denkbar. Alternativ ist die Nutzung von bestehenden (Regional-)Flughäfen für elektrisch angetriebene Flugzeuge (CTOL oder STOL)¹ denkbar. Maschinen für Passagierzahlen im niedrigen zweistelligen Bereich eignen sich gut für elektrisches Fliegen und sind gegenüber eVTOL deutlich energieeffizienter und reichweitenstärker. In diesem Sinne ist auch die Partnerschaft zwischen Lilium und der Lufthansa zu verstehen, bei der die Idee von elektrisch angetriebenen Regionalflugzeugen im Fokus steht (Magenheim-Hörmann 2023). Damit dürfte das elektrische Fliegen deutlich wirtschaftlicher zu betreiben sein, zumal es sich nahtlos in die bestehende Infrastruktur einfügt und die Forderung nach einem lärm- und emissionsarmen Flugverkehr erfüllt (Plötner et al. 2022), der auch in einer übergreifenden Betrachtung der Struktur und Bedeutung der deutschen Flughafenlandschaft herausgehoben wird: „Der Luftverkehr muss dabei stärker den Belangen des Klimaschutzes gerecht werden und die angestößenen Transformationsprozesse, insbesondere hinsichtlich alternativer Antriebstechnologien, vorantreiben und weiterentwickeln“ (Schneider 2022, S. 17).

Wirtschaftlichkeit

Die Weiterentwicklung und die Markteinführung von eVTOL hängen nicht zuletzt auch von ökonomischen Aspekten ab. Die

Anbieter müssen die Herausforderung bewältigen, ihre Herstellungs- und Betriebskosten so zu reduzieren, dass marktfähige Preise aufgerufen werden können. Wenn Flugtaxis tatsächlich in einem gewissen Rahmen eine Alternative für private PKW oder gar eine Ergänzung des ÖPNV darstellen sollen, muss sich die Preisgestaltung an dem Marktumfeld orientieren, in dem solche oder ähnliche Mobilitätsdienstleistungen nachgefragt und angeboten werden (Magenheim-Hörmann 2019). Andernfalls bleiben Flugtaxis ein Nischenangebot für eine kleine, zahlungskräftige Minderheit. Gleichwohl halten Anbieter wie Volocopter und Lilium Preise für realistisch, die denen herkömmlicher Straßentaxis entsprechen (bei deutlich kürzeren Wegezeiten und oftmals auch direkterer Streckenführung; Wenzel 2018).

Für die Betrachtung der Nutzungsentgelte für UAM (üblicherweise in US-Dollar pro zurückgelegte Meile pro Passagier) liegen verschiedene Studien und Angaben vor. Die Werte, die von eVTOL-Herstellern, von unabhängigen Institutionen und auch von Luftfahrtbetreibergesellschaften typischerweise genannt werden, schwanken in etwa zwischen 2 und 17 US-Dollar pro Passagiermeile. Da die Annahme des Nutzungs- und Marktpotenzials stark von der Passfähigkeit zum Mobilitätsverhalten und von den Kosten für den Service (jeweils als Ride Share und somit für mehrere Passagiere ausgelegt) abhängt, wurden jüngst exemplarisch und unter Berücksichtigung der direkten und indirekten Kosten sowie verschiedener technischer Spezifikationen drei Szenarien berechnet – Citytaxi, Airportshuttle und InterCity –, um die Preisspannen differenzierter zu ermitteln (Hader et al. 2024): Für das Kurzstreckenszenario Citytaxi fallen demnach je nach Passagierauslastung zwischen 13 und 52 US-Dollar pro Passagiermeile an, mit einem Durchschnittswert von rund 25 US-Dollar. Für das mittlere Szenario Airportshuttle werden 4 bis 10 US-Dollar pro Passagiermeile fällig, und für das Szenario InterCity über eine Distanz von 175 km sind es um die 3 US-Dollar pro Passagiermeile. Damit wird deutlich, dass eVTOL zumindest in den ersten Jahren der kommerziellen Nutzung eine Nischenmobilität darstellen werden, die in Konkurrenz zu bestehenden Diensten wie Helikoptershuttles und anderen Premiumdiensten treten dürfte (Hader et al. 2024).

Im Forschungsprojekt „HorizonUAM“ des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR) wurde das Potenzial für eVTOL-basierte UAM ermittelt. Unter der Voraussetzung niedriger Ticketpreise und einer hohen Dichte an Vertiports besteht nach den Marktentwicklungsszenarien bis 2050 in über 200 Städten weltweit ein Marktpotenzial für UAM (Asmer et al. 2024).

2023 näherten sich die Bestellungen bzw. unverbindlichen Kaufoptionen in der globalen eVTOL-Branche der Marke von 10.000 (Boeck et al. 2023; Hader et al. 2024). Angeführt wird diese Liste von Eve Air Mobility, einer Tochter der brasiliani-

¹ CTOL = Conventional Take-off and Landing/konventionell startend/landend; STOL = Short Take-off and Landing/verkürzt startend/landend



schen Embraer (mehr als 2.800 Bestellungen/Kaufoptionen), der US-amerikanischen Vertical Aerospace (mehr als 1.500 Bestellungen/Kaufoptionen) und der deutschen Lilium (mehr als 750 Bestellungen/Kaufoptionen). Oftmals werden die eVTOL von Fluglinien als Zubringerdienste zum Flughafen und somit als Ergänzung zu bestehenden Angeboten geplant. Dementsprechend gelten Fluglinien wie United Airlines, Saudia und andere, die zu den größten (Vor-)Bestellern von eVTOL gehören, auch als deren wahrscheinliche Betreiber (Hader et al. 2024, S. 10). Festzustellen ist allerdings, dass trotz der bisher eingegangenen Bestellungen bis heute weltweit kein kommerzielles Angebot für die Advanced Air Mobility (AAM) bzw. die Urban Air Mobility (UAM) existiert. In der jüngeren Vergangenheit sind einige der ambitionierten Pläne eingestellt worden und die entsprechenden Unternehmen vom noch entstehenden Markt verschwunden. Beispielsweise hat der Fahrdienstanbieter Uber seine Flugtaxisparte „Elevate“ an den Mitbewerber Joby Aviation verkauft (Doll/Menn 2021). Auch Volocopter und Lilium standen bzw. stehen seit Mitte 2024 vor der Insolvenz. Mit Blick auf die weitere Finanzierung wurde – wenngleich ohne Konkretisierung – von der Firmenleitung eine mögliche Standortverlegung nach Bayern oder auch nach China als Konsequenz aus der wirtschaftlichen Situation in die Diskussion gebracht, da dort bessere Rahmen- und Finanzierungsbedingungen herrschen würden (Stauss 2024). Volocopter, das geplant hatte, einen Flugtaxi-Service während der Olympischen Sommerspiele 2024 in Paris anzubieten, steht ebenso wie der deutsche Wettbewerber Lilium und andere Unternehmen kurz vor der Musterzulassung. Diese ist Voraussetzung für den kommerziellen Betrieb. Die noch junge Branche sieht die Politik in der Pflicht, die Firmen auf ihrem Weg in den Markt stärker zu unterstützen (Koenen 2024). Im Fall der drohenden Zahlungsunfähigkeit des Unternehmens Lilium ist das Bestreben nach staatlicher Unterstützung aber zunächst gescheitert (Flottau/Timmer 2024).

Zulassung

Für den kommerziellen Betrieb von eVTOL ist deren Musterzulassung durch eine Luftfahrtbehörde zwingend erforderlich. Im Zuge des Prozesses zur Musterzulassung von eVTOL wurde von der Europäischen Kommission mit der Durchführungsverordnung 2024/1111² ein Zulassungs- und Regulierungsrahmen für die Umsetzung durch die European Union Aviation Agency Association (EASA) erlassen. Die Durchführungsverordnung findet u. a. Berücksichtigung in der 2. Auflage der „Special Condition for VTOL and Means of Compliance“ vom Juni 2024, in der die grundlegenden Anforderungen an VTOL festgelegt sind, wie maximales Gewicht, maximale Anzahl der

beförderten Personen, aber auch das Vibrationsverhalten etc. (EASA 2024). Die EASA und ihr US-amerikanisches Pendant, die Federal Aviation Administration (FAA), arbeiten traditionell eng zusammen, sodass reziproke (wechselseitig anerkannte) bzw. gemeinsame Standards für eVTOL zu erwarten sind. Dies geht auch aus einer Mitteilung der FAA vom Juni 2024 hervor: „Die Federal Aviation Administration (FAA) und die Europäische Agentur für Flugsicherheit (EASA) haben einen wichtigen Meilenstein auf dem Weg zur Zertifizierung elektrischer Senkrechtstarter (eVTOL) erreicht. Dies ist auch ein wichtiger Fortschritt in den Bemühungen, die Gesetzgebung und politischen Initiativen zwischen den Vereinigten Staaten und der Europäischen Union stärker aufeinander abzustimmen“ [Übersetzung durch die Autoren] (FAA 2024). Es deutet sich an, dass die dritte große Behörde für Luftfahrtssicherheit, die Civil Aviation Administration of China (CAAC), zumindest nicht in allen Standards mit der EASA/FAA übereinstimmen könnte: Die bisher weltweit einzige Musterzulassung für ein eVTOL, den Typ EH216-S des chinesischen Herstellers EHang, 2023 erfolgte zwar durch die CAAC (EHang Holdings Limited 2023), nicht aber durch die EASA oder die FAA. Dementsprechend hat etwa das chinesische eVTOL-Unternehmen Autoflight eine Niederlassung in Augsburg gegründet, um die EASA-Zertifizierung voranzutreiben (Borchert 2022). Angesichts der Dynamik in den Zulassungsprozessen ist davon auszugehen, dass die ersten EASA/FAA-Musterzulassungen in wenigen Monaten bis maximal in 1,5 Jahren zu erwarten sind.

Mögliche vertiefte Bearbeitung des Themas

Die Entwicklung der bemannten, vollelektrischen Senkrechtstarter wird angesichts der Vielzahl der Akteure und der fortgeschrittenen Technologien mit hoher Wahrscheinlichkeit weiter an Dynamik gewinnen. Insbesondere wenn die Musterzulassungen erfolgen und Erfahrungen mit kommerziellen Diensten gesammelt werden, wird sich zeigen, wie wirtschaftlich tragfähig die Betreiber- und Geschäftsmodelle sind, wie die Integration sowohl in den Luftraum als auch in die Gesamtheit (urbaner) Mobilität gelingt, welche gesellschaftlichen Ablehnungs- und Adoptionsprozesse (vom hochpreisigen Early Adopter zum Alltagsphänomen) sich herauskristallisieren, wie in der Praxis die Sicherheit von Passagieren und Umwelt gewährleistet wird, wann der Schritt vom/von der Präsenz- zur aus der Ferne steuernden Pilot/in und weiter zum autonomen Fliegen vollzogen wird. Viele dieser Fragen werden in den kommenden Jahren im praktischen Betrieb an Bedeutung gewinnen, aber sicher auch beantwortet werden. Aus diesem Grund bietet es sich an, die Entwicklung zu beobachten und in 3 bis 4 Jahren daraufhin zu bewerten, ob eine abermalige Aktualisierung des vorliegenden Kurzprofils oder eine vertiefte Behandlung als TA-Kompakt-Studie angezeigt erscheint.

² Durchführungsverordnung (EU) 2024/1111 zur Änderung der Verordnung (EU) Nr. 1178/2011, der Durchführungsverordnung (EU) Nr. 923/2012, der Verordnung (EU) Nr. 965/2012 und der Durchführungsverordnung (EU) 2017/373 hinsichtlich der Festlegung von Anforderungen an den Flugbetrieb mit bemannten senkrecht start- und landefähigen Luftfahrzeugen

Literatur

- ACARE (Advisory Council for Aviation Research and Innovation in Europe) (2022): Strategic Research & Innovation Agenda 2017 Update. <https://www.acare4europe.org/news/strategic-research-innovation-agenda-2017-update/> (29.10.2024)
- Amos, J. (2016): Solar Impulse completes Atlantic crossing with landing in Seville. BBC, <http://www.bbc.com/news/science-environment-36598140> (29.10.2024)
- Asmer, L.; Jaksche, R.; Pak, H.; Kokus, P. (2024): A City-centric Approach to Estimate and Evaluate Global Urban Air Mobility Demand. In: CEAS Aeronautical Journal, S. 1–11
- BDLI (Bundesverband der Deutschen Luft- und Raumfahrtindustrie e. V.) (2023): AAM-Roadmap – Aus Deutschland für Deutschland. Eine Aktion der BDLI Arbeitsgruppe Advanced Air Mobility. https://www.bdli.de/sites/default/files/2023-07/230721_AAM_Roadmap_final.pdf (29.10.2024)
- Becker, J. (2018): Rasenmäher der Lüfte. In: Süddeutsche Zeitung 98, 28.4.2018, S. 64
- Bellamy III, W. (2023): Air Force eVTOL Research and Development Programs Make Remote Pilot Progress. Mobility Engineering, <https://www.mobilityengineeringtech.com/component/content/article/48326-air-force-evtol-research-and-development-programs-make-remote-pilot-progress> (29.10.2024)
- BMVI (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur) (2015): Strategie automatisiertes und vernetztes Fahren. Leitanbieter bleiben, Leitmarkt werden, Regelbetrieb einleiten. Berlin
- BMVI (2023): Unbemannte Luftfahrtsysteme und innovative Luftfahrtkonzepte. Aktionsplan der Bundesregierung. Berlin
- BMWi (Bundesministerium für Wirtschaft und Energie) (2014): Die Luftfahrtstrategie der Bundesregierung. Berlin
- Boeck, S.; Mahan, S.; Johnston, T.; Lidel, S.; Riedel, R.; von Gaisberg, A.-S. (2023): The growing order backlog for future air mobility aircraft. McKinsey & Company, <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/future-air-mobility-blog/the-growing-order-backlog-for-future-air-mobility-aircraft> (29.10.2024)
- Borchert, T. (2022): Autoflight baut eVTOL-Lufttaxi in Augsburg. aerointernational.de, <https://www.aerointernational.de/de/industrie-technik-nachrichten/autoflight-baut-evtol-lufttaxi-in-augsburg.html> (29.10.2024)
- Buck, C. (2015): Ultraleichtes Kraftpaket für das elektrische Fliegen. <https://www.innovations-report.de/fachgebiete/energie-und-elektrrotechnik/elektromobilitaet-ultraleichtes-kraftpaket-fuer-das-elektrische-fliegen/> (29.10.2024)
- Calandrelli, E. (2016): NASA's new X-plane and the future of electric aircraft. TechCrunch, <https://techcrunch.com/2016/06/17/nasas-new-x-plane-and-the-future-of-electric-aircraft/> (29.10.2024)
- Castle, J.; Fornaro, C.; Genovesi, D.; Lin, E.; Strauss, D.; Wadewitz, T.; Edridge, D. (2017): Flying solo – how far are we down the path towards pilotless planes? UBS Evidence Lab, Q-Series
- Dahlmann, D. (2017): Wie dieses Wasserstoff-Flugzeug die Kurzstrecke erobern will. Business Insider, <https://www.businessinsider.de/gruenderszene/allgemein/wasserstoff-flugzeug-passagiere-hy4/> (29.10.2024)
- Dilba, D. (2018): Luftfahrt: Die Hybriden kommen. heise online, <https://www.heise.de/hintergrund/Luftfahrt-Die-Hybriden-kommen-3972364.html> (29.10.2024)
- Doll, F.; Menn, A. (2021): Sind Flugtaxis die nächsten Brennstoffzellen der Börse? Wirtschaftswoche, <https://www.wiwo.de/technologie/forschung/luftfahrt-sind-flugtaxis-die-naechsten-brennstoffzellen-der-boerse/26924474.html> (29.10.2024)
- EASA (European Union Aviation Safety Agency (o. J.)): Urban Air Mobility (UAM). <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/drones-air-mobility-landscape/urban-air-mobility-uam> (29.10.2024)
- EASA (2024): Special Condition for VTOL and Means of Compliance. Issue 2 (SC-VTOL-02), <https://www.easa.europa.eu/en/downloads/139946/en> (29.10.2024)
- EHang Holdings Limited (2023): EHang Successfully Obtains Type Certificate for EH216-S Passenger-Carrying UAV System Issued by Civil Aviation Administration of China. <https://www.ehang.com/news/990.html> (29.10.2024)
- Ensthaler, J. et al. (2014): Statusreport – Additive Fertigungsverfahren. Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf
- Expertenkommission Forschung und Innovation (2015): Gutachten 2015. Gutachten zu Forschung, Innovation und

- technologischer Leistungsfähigkeit Deutschlands. (Backes-Gellner et al.) Berlin
- FAA (Federal Aviation Administration) (2024): FAA Statement on eVTOL Aircraft Certification. <https://www.faa.gov/newsroom/faa-statement-evtol-aircraft-certification> (29.10.2024)
 - Flottau, J.; Timmler, V. (2024): Bund verweigert Lilium Staatshilfe. Flugtaxi-Start-up. Süddeutsche Zeitung, <https://sz.de/lux.LfXFW8DBiTNWJND5dxkbif> (31.10.2024)
 - Hader, M.; Baur, S.; Kopera, S.; Niklaß, M.; Pertz, J.; Swaid, M.; Gollnick, V. (2024): Advanced Air Mobility on the runway to commercialization. A close look at eVTOL unit economics. Roland Berger GmbH, https://content.rolandberger.com/hubfs/07_presse/24_2429 REP_Advanced_Air_Mobility_lay5.pdf (31.10.2024)
 - Hamburg Aviation e. V. (2018): Hamburg joins EU Urban Air Mobility Initiative. https://www.hamburg-aviation.de/fileadmin/user_upload/HAV/PRESSE/DOWNLOADS/20180608_Hamburg_wird_EU-Modellregion_fuer_Drohnen/20180608_MoI_UrbanAirMobility_en-GB.pdf (29.10.2024)
 - Hardy, R. (2018): Electric self-piloted Airbus VTOL aircraft completes first full-scale test flight. New Atlas, <https://newatlas.com/airbus-vtol-vahana-first-test-flight/53228/> (29.10.2024)
 - Heumer, W. (2018): Fliegender Yoga-Ball. In: VDI nachrichten 27/28, 9.7.2018, S. 14
 - Holden, J.; Goel, N. (2016): Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation. Uber, https://evtol.news/_media/PDFs/UberElevateWhitePaperOct2016.pdf (29.10.2024)
 - Koenen, J. (2024): Lilium-Chef macht Politik schwere Vorwürfe – Streit um Förderung. Handelsblatt, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/industrie/flugtaxis-lilium-chef-macht-politik-schwere-vorwuerfe-streit-um-foerderung/100034894.html> (29.10.2024)
 - Krüger, R. (2017): Lufttaxi nach Dubai: Zur Flucht aus dem Stau. heise online, <https://www.heise.de/newsticker/meldung/Lufttaxi-nach-Dubai-Zur-Flucht-aus-dem-Stau-3791331.html> (29.10.2024)
 - Lobo, S. (2017): Zukunft ohne Straßen: Man hat uns fliegende Autos versprochen, verdammt! Spiegel Online, <http://www.spiegel.de/netzwelt/web/sascha-lobo-ueber->
 - fliegende-autos-und-die-zukunft-der-strasse-a-1144927.html (29.10.2024)
 - Magenheim-Hörmann, T. (2018): Fliegen zum Taxitarif. In: Frankfurter Rundschau, 12.7.2018, S. 14
 - Magenheim-Hörmann, T. (2019): Das Elektro-Taxi hebt ab. Frankfurter Rundschau, <https://www.fr.de/wirtschaft/elektrotaxi-hebt-11052928.html> (29.10.2024)
 - Magenheim-Hörmann, T. (2023): Plötzlich mehr als Flugtaxi: Wie Lilium seine Flugzulassung bekommen möchte. Redaktionsnetzwerk Deutschland, <https://www.rnd.de/wirtschaft/ploetzlich-mehr-als-flugtaxi-wie-lilium-seine-flugzulassung-bekommen-moegliche-RGCS4IBN6RBZ3GJTYNA64JHYQ4.html> (29.10.2024)
 - Manager magazin (2017): Millionen-Investment befähigt Bau von Elektro-Lufttaxi. Start-up Lilium erhält 90 Millionen Dollar. <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/industrie/lilium-gmbh-muenchener-elektroflugzeug-startup-sammelt-90-mio-us-dollar-ein-a-1166207.html> (29.10.2024)
 - Martin-Jung, H. (2018): Flugtaxi, bitte. Die Pioniere des Elektro-Flugzeugbaus sehen ihre Branche kurz vor dem Durchbruch. In: Süddeutsche Zeitung 150, 3.7.2018, S. 21
 - NASA (National Aeronautics and Space Administration) (2015): NASA Armstrong Fact Sheet: Solar-Power Research. (Gibbs, Y.) https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2021/09/120308main_FS-054-DFRC.pdf?emrc=38f4cb (29.10.2024)
 - Parson, D. (2019): City Airbus eVTOL Prototype Makes First Flight in Germany. Avionics International, <https://www.aviationtoday.com/2019/05/06/city-airbus-evtol-prototype-makes-first-flight-germany/> (29.10.2024)
 - Plötner, K.; Straubinger, A.; Preis, L.; Shamiyah, M. (2022): Putting Urban Air Mobility into perspective. Bauhaus Luftfahrt, https://www.bauhaus-luftfahrt.net/fileadmin/user_upload/News/Whitepaper/UAM_White_Paper_2022.pdf (29.10.2024)
 - Schneider, J. (2022): Räumliche Struktur und Bedeutung der Flughafenlandschaft in Deutschland. BBSR-Analysen Kompakt 10/2022. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/analysen-kompakt/2022/ak-10-2022-dl.pdf?__blob=publicationFile&v=3 (29.10.2024)

- Schubert, A. (2018): Mobilität der Zukunft – CSU fordert Landeplatz für Flugtaxis am Münchener Hauptbahnhof. Süddeutsche Zeitung, <http://www.sueddeutsche.de/muenchen/2.220/mobilitaet-der-zukunft-csu-fordert-landeplatz-fuer-flugtaxis-am-muenchner-hauptbahnhof-1.4038911> (29.10.2024)
- Sorge, N.-V. (2017): Elektro-Flieger mit 90 Sitzen soll schon 2020 abheben. Airbus prescht bei neuer Technologie vor. Manager magazin, <http://www.manager-magazin.de/unternehmen/artikel/airbus-siemens-und-rolls-royce-wollen-elektrisch-fliegen-a-1180749.html> (29.10.2024)
- Stauss, M. (2024): Volocopter aus Bruchsal: Investoren geben frisches Geld für Flugtaxi. Südwestrundfunk, <https://www.swr.de/swraktuell/baden-wuerttemberg/karlsruhe/volocopter-bruchsal-geld-fuer-flugtaxi-100.html> (29.10.2024)
- Stüber, J. (2018a): Erfolgreiche Premiere für Airbus mit Flugtaxi Vahana. Gründerszene.de, <https://www.gruenderszene.de/allgemein/vahana-erstflug-airbus> (29.10.2024)
- Stüber, J. (2018b): Kein Lufttaxi für Superreiche. Wie Volocopter in Metropolen landen will. Gründerszene.de, <https://www.gruenderszene.de/automotive-mobility/volocopter-lufttaxis-hubs> (29.10.2024)
- TAB (Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag) (2018): Flugtaxis – bemannte, vollelektrische Senkrechtstarter (Hungerland, T.). TAB-Themenkurzprofil Nr. 21, Berlin
- Tallerico, T. (2021): NASA Reference Motor Designs for Electric Vertical Takeoff and Landing Vehicles. NASA Glenn research Center, [https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017935/downloads/UAM%20Motor%20Design%20_7_7_2021%20\(1\).pdf](https://ntrs.nasa.gov/api/citations/20210017935/downloads/UAM%20Motor%20Design%20_7_7_2021%20(1).pdf) (29.10.2024)
- Thomases, H. (2023): The vision, current status and challenges eVTOLs face in travel. Phocuswright, <https://www.phocuswright.com/Travel-Research/Research-Updates/2023/The-vision-current-status-and-challenges-eVTOLs-face-in-travel> (29.10.2024)
- Thomson, R.; Nazukin, M.; Sachdeva, N.; Martinez, N. (2017): Aircraft Electrical Propulsion. The Next Chapter of Aviation. Roland Berger Ltd., https://www.rolandberger.com/publications/publication_pdf/roland_berger_aircraft_electrical_propulsion.pdf (29.10.2024)
- VDA (Verband der Automobilindustrie e. V.) (o. J.): Automatisierung. Von Fahrerassistenzsystemen zum automatisierten Fahren. <https://www.vda.de/de/themen/digitalisierung/automatisiertes-fahren> (29.10.2024)
- Wenzel, F.-T. (2018): Volocopter. Das fliegende Taxi könnte schon bald Realität werden. Mitteldeutsche Zeitung, <https://www.mz-web.de/wirtschaft/volocopter-das-fliegende-taxi-koennte-schon-bald-realitaet-werden-29487142> (29.10.2024)
- Weritzke, C. (2024): Airbus enthüllt E-Flugtaxi namens CityAirbus NextGen. electrive.net, <https://www.electrive.net/2024/03/08/airbus-enthaelt-e-flugtaxi-namens-cityairbus-nextgen/> (29.10.2024)
- Wille, J. (2018): Flugtaxis. Durch die Luft zur Arbeit. In: Frankfurter Rundschau 133, 12.6.2018, S. 2–3
- Xiang, S.; Xie, A.; Ye, M.; Yan, X.; Han, X.; Niu, H.; Li, Q.; Huang, H. (2024): Autonomous eVTOL: A summary of researches and challenges. In: Green Energy and Intelligent Transportation 3(1), Art. 100140

Herausgeber

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag (TAB)

Bildnachweise

peepo/iStock (S. 1, 3); sergeysan1/iStock (S. 4);
XH4D/iStock (S. 6)

ISSN: 2629-2874

DOI: 10.5445/IR/1000179498

**Horizon
SCANNING**

Das Horizon-Scanning ist Teil der Foresight-Aktivitäten des TAB und wird vom Institut für Innovation und Technik (iit) in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH durchgeführt.
www.tab-beim-bundestag.de/horizon-scanning