



Urban Air Mobility

Flugdrohnen als Transportmittel der Zukunft

*„Ein Flug wird nicht teurer sein
als die Fahrt mit dem Taxi.“*

Florian Reuter, Geschäftsführer (CEO) Volocopter GmbH

*„Wir haben einige der schwierigsten
technischen Herausforderungen
in der Luftfahrt gelöst.“*

Daniel Wiegand, Gründer Lilium

St. Gallen/Bad Homburg, Mai 2021

Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

im heutigen Umfeld urbaner Mobilität gibt es erhebliche Probleme, die mit den Stichworten Umweltschädigung, Verkehrsinfarkt und Überlastung städtischer Infrastruktur nur kurz umrissen sind. Logistische Defizite und der Druck härterer Umweltauflagen erzwingen neue Mobilitätslösungen.

Während die traditionelle Verkehrsbranche Corona-bedingt noch unter Schockstarre steht, schreitet die Entwicklung alternativer Mobilitätslösungen mit großer Dynamik voran. Speziell das Konzept der „Urban Air Mobility“ (UAM), also eines stadtnahen Luftverkehrs auf Basis von Flugdrohnen, eröffnet völlig neue Chancen und könnte disruptive Umwälzungen nach sich ziehen.

Vor diesem Hintergrund haben sich einzelne Initiativen, Startups und Konzerne in den letzten Jahren intensiv mit dem Potential von UAM und autonomen Passagierdrohnen beschäftigt. Auch die öffentliche Debatte um „fliegende Taxis“ hat in den letzten Jahren zugenommen. Die europäische Luftfahrtaufsicht EASA definiert bereits erste Anforderungen für die Zertifizierung der neuartigen Flugvehikel. Innovative Firmen wie Volocopter und Lilium unterstützen die Entwicklung als Pioniere im Bereich UAM. Lilium strebt eine Zertifizierung bis Ende 2023 an und im Jahr 2024 sollen erste Passagiere transportiert werden. Volocopter denkt sogar noch schneller: Die Zertifizierung ist bis Ende kommenden Jahres angedacht und ab 2023 ist der Beginn mit dem kommerziellen Betrieb geplant.

Damit rücken passagierfähige Flugdrohnen als potentiell disruptive Technologie in greifbare Nähe. Doch auch gescheiterte Projekte sind keine Seltenheit und entsprechend groß ist die Skepsis, ob eine autonome Passagierdrohne jemals abheben wird. Schon bald wird sich zeigen, welche Herausforderungen noch bestehen, welche Marktpotentiale möglich sind und welche weiteren Treiber und „Tipping Points“ – also szenarioverändernde Wendepunkte – für UAM relevant sind.

Aktuell befindet sich das Zukunftsthema Urban Air Mobility in einem sehr dynamischen Prozess, der intensive Beobachtung verdient: Was leistet die Technologie? Wer sind die Pionier-Unternehmen? Und wie groß ist das Zukunftspotential von Passagierdrohnen?

Der vorliegende *Cognitive Comment* gibt dazu einen grundlegenden Überblick und ermöglicht so eine qualifizierte Einschätzung des Themas.

Wir wünschen eine erkenntnisreiche Lektüre!



Dr. Maximilian Alexander Richter
Project Leader and Research Associate
Universität St. Gallen



Dr. Heinz-Werner Rapp
Gründer & Leiter Steering Board
FERI Cognitive Finance Institute

Inhalt

1	Executive Summary	1
2	Einleitung: Urban Air Mobility	2
3	Hintergrund und Relevanz: Warum wird Passagierdrohnen ein so hohes Potential zugeschrieben?	2
4	Drohnen-Technologie: Was steckt dahinter?	4
	a. Elektrohubschrauber	5
	b. Multirotor-Drohne	5
	c. Lift + Cruise Drohne	5
	d. Drohnen mit Kipprotor	5
5	Anwendungsbereiche von Passagierdrohnen: Wie können Passagierdrohnen eingesetzt werden?	6
	Case 1: Innerstädtischer Flugtaxi-Dienst	6
	Case 2: Airport Shuttles	6
	Case 3: Intercity-Flugbetrieb	7
6	Status Quo der Drohnen-Initiativen: Welche Initiativen sind am Markt bekannt?	7
7	Marktpotential: Welche Nutzungspotentiale können sich am Markt entfalten?	11
	a. Zulieferer und OEMs	11
	b. Flugdienstbetreiber	11
	c. Dienstleister.....	11
8	Herausforderungen für die weitere Entwicklung: Welche Schwierigkeiten sind erkennbar?	12
9	Treiber und Tipping Points der VTOL Implementierung: Welche Weichenstellungen sind essentiell?	13
10	Welche potentiellen Auswirkungen haben diese Entwicklungen?	14
11	Fazit	15
	Erläuterungen	17
	Literaturverzeichnis	17
	Abkürzungsverzeichnis	18

1 Executive Summary

- In vielen Städten stehen traditionelle Verkehrssysteme kurz vor dem Zusammenbruch. Das neue Mobilitätskonzept „Urban Air Mobility“ (UAM) bietet die Möglichkeit, den **Verkehr von Personen und Gütern in die dritte Dimension zu verlagern**.
- Eine Einführung von Passagierdrohnen spart **Reisezeit** und **senkt das Verkehrsaufkommen** sowie den **Emissionsausstoß durch die Verwendung von klimafreundlichen Elektroantriebstechnologien**. Ferner bieten Drohnen **langfristig kostengünstigeren Transport als eine Fahrt mit dem eigenen Auto**.
- Derzeit existiert noch **keine Best-Practice-Technologie für Passagierdrohnen am Markt**. Unternehmen setzen auf unterschiedliche Technologien, die je nach Anwendungsfall besser oder schlechter geeignet sind.
- Forschungsergebnisse zeigen, dass UAM zeitnah eine relevante **Alternative zu den traditionellen Mobilitätsoptionen** darstellt. Prognosen zufolge besteht die Möglichkeit, dass im Jahr 2035 bereits 23.000 vertikal startende und landende Drohnen weltweit in unseren Städten Menschen und Waren transportieren.
- Kalkulationen gehen davon aus, dass Passagierdrohnen im **Jahr 2035 einen Transportmarkt im Wert von 21 bis 31 Milliarden USD** schaffen. Über den Geldwert hinaus, schätzt Booz Allen Hamilton (2018), dass der amerikanische Lufttaxi- und Flughafen-Shuttle-Markt bis zum Jahr 2035 ein Potential von 55.000 Flügen pro Tag erreicht, das mit 4.000 Drohnen bedient wird.
- Akteure aus dem Technologie- und Finanzsektor treiben die Entwicklung durch Investitionen bereits seit einigen Jahren voran. Skepsis und Zögern sind hingegen bei politischen Entscheidungsträgern und etablierten OEMs zu erkennen.
- Trotz hoher Potentiale bringt die Entwicklung von Drohnen **Risiken und Herausforderungen in der Regulierung, technischen Umsetzung und Akzeptanz der Kunden** mit sich.
- Treiber der Technologie werden Länder und Städte sein, die Pilotprojekte ermöglichen. Entscheidend für die Skalierung der Drohnenproduktion ist die Zusammenarbeit zwischen OEMs und Technologieunternehmen. Darüber hinaus muss eine Infrastruktur geschaffen werden, die eine Automatisierung der Drohnen ermöglicht.

Städtische Luftmobilität (Urban Air Mobility, UAM) bezieht sich auf eine Reihe von Fahrzeugen und Betriebskonzepten, die auf Abruf oder im Linienflugverkehr Passagiere und Fracht innerhalb eines Ballungsgebietes befördern.

VTOL steht für „vertical take-off and landing“ und bezieht sich auf Flugzeuge bzw. Drohnen, die vertikal starten, schweben und landen können. Das bekannteste Beispiel für ein VTOL-Flugzeug ist ein Hubschrauber.

Ein **Erstausrüster** (englisch: Original Equipment Manufacturer, OEM, übersetzt Originalausrüstungshersteller) ist ein Hersteller von Komponenten oder Produkten, der diese nicht selber in den Einzelhandel bringt.

2 Einleitung: Urban Air Mobility

Alternative Mobilitätslösungen sind gefragter denn je. Heutige traditionelle straßengebundene Verkehrskonzepte stoßen an ihre Kapazitätsgrenzen. Verkehrsstaus nehmen in erheblichem Maße die Zeit der Stadtbewohner in Anspruch. Sie beeinträchtigen deren Produktivität und wirken sich negativ auf deren Lebensqualität aus.

Die enorme Zunahme von Parkplätzen und Straßen seit der Erfindung des Automobils ist im öffentlichen Raum deutlich spürbar und beeinträchtigt die Bedürfnisse von Fußgängern und Radfahrern. Besonders in historisch gewachsenen Städten wie Barcelona, Hongkong und New York wird nach Angaben der Vereinten Nationen mehr als ein Drittel aller öffentlichen Flächen innerhalb der Stadtgrenzen für Straßen oder Parkplätze genutzt.² UAM bietet einen Lösungsweg: Die **Verlagerung des Verkehrs von Personen und Gütern in die dritte Dimension – in den Luftraum**.

Die Verlagerung des Verkehrs ist kein neues Konzept. In den USA wurden bereits seit Anfang der 1960er Jahre Linienflug-taxi-Dienste mit Helikoptern in Städten durchgeführt. Allerdings stellte das Unternehmen *New York Airways* nach einer Reihe von tödlichen Unfällen den Betrieb ein und meldete Konkurs an.

Während dieses Kapitel der urbanen Mobilität aus der Luft ein jähes Ende fand, gibt es heute wieder verschiedene Hubschrauber-Transportdienste in verkehrsgeplagten Metropolen wie Sao Paulo, Mexiko-Stadt und erneut in New York. Unternehmen wie *Fly Blade Inc.* bieten beispielsweise Hubschrauber-Passagiertransporte auf Abruf an, indem sie per mobiler App-Anwendungen Flüge zur Verfügung stellen (Ridehailing). Dazu kommt, dass technologische Entwicklungen und der Fortschritt in der Leistungselektronik, Kommunikation, Sensorik und Datenanalytik insbesondere für kleine unbemannte Flugzeuge neue Möglichkeiten hinsichtlich Sicherheit, Effizienz und Bezahlbarkeit eröffnen.

In den letzten Jahren liefert sich eine Vielzahl von Unternehmen ein Rennen, um die Entwicklung von Passagierdrohnen (VTOL-Technologien – vertical take off and landing) voranzutreiben und das erste VTOL-Fluggerät der nächsten Generation zu prototypisieren und in Serie zu produzieren. Der Fokus der Entwicklung liegt dabei auf **elektrisch angetriebenen Drohnen**.

3 Hintergrund und Relevanz: Warum wird Passagierdrohnen ein so hohes Potential zugeschrieben?

Heutige Städte stoßen aus Verkehrssicht an ihre Grenzen. In London steht eine Person ca. 150 Stunden pro Jahr im Stau, in Los Angeles sind es über 100 Stunden. Laut einer Studie von INRIX führten Verkehrsstaus allein in den USA im Jahr 2018 zu einem wirtschaftlichen Verlust von 305 Milliarden USD.³ Entsprechend steigt der Bedarf nach neuen Mobilitätslösungen. Politiker versprechen sich von der urbanen Luftmobilität eine **Verbesserung der Verkehrssituation** durch Entlastung des Verkehrs auf den Straßen sowie beim Parken. Des Weiteren reduziert die Einführung von Passagierdrohnen die Zahl an Unfällen und Verkehrstoten.

Weitere **Vorteile** ergeben sich durch kostengünstiges und schnelleres Reisen sowie eine Entlastung der Umwelt durch weniger Schadstoffverbrauch. Obwohl ein Flugkilometer derzeit etwa 6 USD pro Person kostet, plant das Unternehmen *Uber*, die Kosten mittelfristig auf 1,60 USD pro Kilometer zu senken. Langfristig ist das Ziel von *Uber*, die Kosten auf 30 Cent pro Kilometer zu senken, was kostengünstiger als die Fahrt mit einem Auto ist.⁴ Neben *Uber* kalkuliert auch das US-Startup *Joby Aviation* ähnliche Kosten. In fünf Jahren könnte ein Flug rund 1,50 Euro (ca. 1,79 USD) kosten und wäre somit günstiger als ein Berliner Taxi.⁵

Aktuell geht die Europäische Kommission davon aus, dass 40 % aller CO₂-Emissionen des weltweiten Straßenverkehrs und bis zu 70 % anderer Schadstoffe auf den motorisierten Individualverkehr zurückzuführen sind.⁶ Der private Autoverkehr ist dabei der Hauptverursacher.

Die gemeinnützige European Public Health Alliance schätzt, dass sich die jährlichen Kosten der verkehrsbedingten Luftverschmutzung in Europa (in Form von Produktivitätsverlusten und Gesundheitskosten) auf rund 88 Milliarden Euro belaufen.⁷

Passagierdrohnen setzen auf Elektroantrieb, um einen sauberen und effizienten Betrieb zu gewährleisten. Leichte Materialien sind dabei der Erfolgsfaktor. Die Verringerung des Gewichts der Struktur führt zu einer Erhöhung der Lade- oder Passagierkapazität, vergrößert die Reichweite des Fahrzeugs und reduziert den Energiebedarf für den Betrieb. Dadurch wird die gesamte CO₂-Bilanz des UAM verbessert. Des Weiteren werden Drohnen per Ridehailing von Dienstleistern zur Verfügung gestellt. Fahrten werden so gebündelt und entlasten das Verkehrsaufkommen.

Unternehmen sehen in der „Urbanen Luftmobilität“ hohe finanzielle Potentiale. Durch die neue Technologie und das Flugangebot entsteht **ein Markt mit neuen Geschäftsmodellen**. Dieser wird auf ein Volumen von 21 bis 31 Milliarden USD für das Jahr 2035 geschätzt, mit einer jährlichen Wachstumsrate von bis zu 12 %.⁸

Abb. 1: Potentiale durch Drohnen



Quelle: FERI Cognitive Finance Institute/Richter, 2021

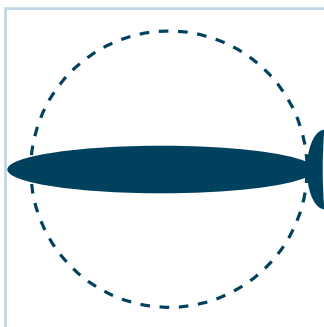
4 Drohnen-Technologie: Was steckt dahinter?

Der technologische Fortschritt in der Flugzeugtechnik, gekoppelt mit einem verbesserten elektrischen Antrieb, hat zu einer neuen Revolution des Helikopterfliegens geführt. Neue Technologien, wie beispielsweise der verteilte Elektroantrieb (Distributed Electric Propulsion, DEP), hat den Konstrukteuren neue Möglichkeiten eröffnet, Helikopter neu zu denken. Entsprechend setzen Unternehmen auf unterschiedliche Drohnen-Technologien, die dazu führen, dass eine Vielzahl von Konzepten entwickelt werden.

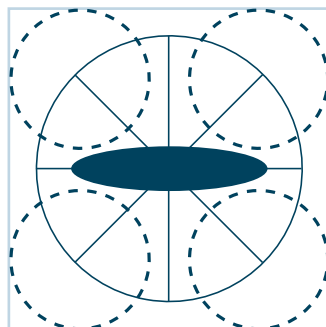
Derzeit existiert noch keine Best-Practice-Lösung, da sich die Entwicklung von Passagierdrohnen noch im Anfangsstadium befindet. Der Einsatz von Elektroantrieb anstelle von Verbrennungsmotoren ist dennoch für alle Unternehmen entscheidend. Abgesehen davon, dass der Elektroantrieb umweltfreundlicher ist, machen elektrische Antriebsstränge die Fahrzeuge kostengünstiger, da sie weniger komplex sind, was die Herstellungskosten und den Wartungsaufwand reduziert.

Im Laufe der Zeit haben sich fünf grundlegende eVTOL-Modelle (electric-powered vertical take off and landing) etabliert. Darunter fallen der Elektrohubschrauber, die Multirotor-Drohne, die Lift + Cruise Drohne, und die Kipprotor-Drohne.⁹

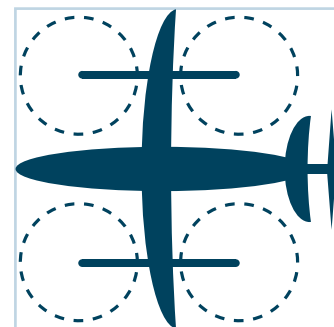
Abb. 2: Drohrentypen und deren Eigenschaften



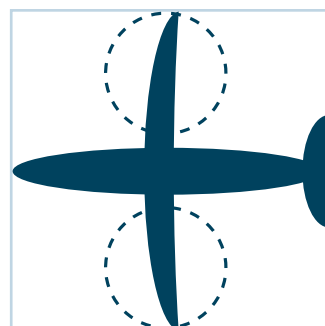
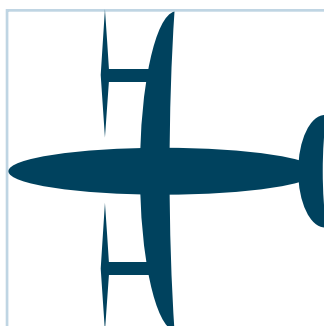
a) Elektrohubschrauber



b) Multirotor-Drohne



c) Lift + Cruise Drohne



d) Kipprotor-Drohne

Quelle: Kadhiresan et al. (2019)

a) Elektrohubschrauber

Drohnen in Form eines Helikopters weisen mit einem großen Rotor über der Passagierkabine starke konzeptionelle Ähnlichkeiten mit traditionellen Hubschraubern auf. Sie werden jedoch im Gegensatz zu den traditionellen Verbrennungsmotoren von einem Elektromotor angetrieben. Ein Beispiel für Elektrohubschrauber ist der französische *Aquinea Volta*. Eine Unterkategorie der Elektrohubschrauber sind die sogenannten Side-by-Side-Hubschrauber. Elektrohubschrauber gibt es im Vergleich zu den anderen Modellen schon länger. Aufgrund der hohen Lärmemissionen sowie weiterer betriebsbedingter Nachteile, wie beispielsweise hohem Energieverbrauch, ist dieser Antriebstyp für den urbanen Raum weniger gut geeignet.

b) Multirotor-Drohne

Die Multirotor-Drohne, auch flügelloses eVTOL genannt, verfügt über mehrere Propeller – typischerweise vier oder mehr, die oft ringförmig und oberhalb der Kabine angeordnet sind. Durch die Propeller ergibt sich eine große Scheibenantriebsfläche, die einen effizienten Schwebeflug und hohe Stabilität ermöglicht. Wie aus der Visualisierung ersichtlich ist, besitzen Multirotor-Drohnen keine Tragfläche. Diese Drohnen-Modelle können typischerweise zwischen zwei und vier Passagiere befördern und erreichen Höchstgeschwindigkeiten von 80 bis 120 km/h. In einer aktuellen Studie untersuchten Shamiyeh et al.¹⁰ mehrere Modelle und stellten fest, dass Multikopter bei einer Reichweite von bis zu 26 km am effizientesten sind und aufgrund der vergleichsweise geringen Geschwindigkeit einen signifikanten Lärmvorteil haben. Zwei prominente Beispiele für dieses Modell sind der *EHang 184* (Quadcopter) und der *Volocopter 2X* (Multicopter), die beide bereits erfolgreich Testflüge absolviert haben. Drohnen mit Multirotor eignen sich vor allem für kürzere Distanzen, etwa für innerstädtische Punkt-zu-Punkt-Dienste. Eine von Porsche Consulting (Grandl et al., 2018) veröffentlichte Studie beschreibt, dass dieses Modell aufgrund schnellerer und einfacherer Zertifizierungsprozesse im Vergleich zu anderen Konzepten eine relativ kurze Markteintrittszeit hat. Grund dafür ist das Konzept mehrerer statischer Rotoren, welches im Vergleich zu elektrischen Hubschraubern eine erhöhte Sicherheit mit sich bringt.

c) Lift + Cruise Drohne

Die Lift + Cruise Drohne nutzt zwei unterschiedliche und unabhängige Antriebssysteme für den Schwebeflug und Reiseflug. Im Gegensatz zu Multikoptern verfügen diese über einen Flügel für einen effizienten Reiseflug und größere Reichweiten. Typischerweise sind diese Modelle so konstruiert, dass sie feste, nach vorn gerichtete Propeller für den Reiseflug und separate, einziehbare Propeller haben, die während des Starts und der Landung Auftrieb erzeugen. Die Konzepte sind für zwei bis vier Passagiere bei Höchstgeschwindigkeiten von 150 bis 200 km/h ausgelegt. Dieses Design gilt als Allround-Lösung, die für ein breites Spektrum an Anwendungen wie beispielsweise Airport-Shuttle Service und Intercity-Flüge geeignet ist. Dennoch sind Lift + Cruise Drohnen für längere Distanzen als Multikopter ausgelegt und erreichen hohe Wirkungsgrade bei Reichweiten zwischen 26 und 80 km. Laut Grandl et al.¹¹ bieten Lift + Cruise Drohnen im Vergleich zu Multikoptern Zeitersparnis und geringere Betriebskosten. Prominente Beispiele in dieser Kategorie sind der *Kitty Hawk Cora* und der von *Aurora Flight Services* gebaute eVTOL.

d) Kipprotor-Drohne

Drohnen mit Kipprotoren sind mit richtungsvariablen Ventilatoren ausgestattet, die an festen Flügeln angebracht sind. Die Schubzeuger sind durch Propeller oder Kanalventilatoren in der Lage, sich zu drehen, während der Rumpf und der Flugzeugflügel horizontal bleiben. Zwei bis vier Passagiere können transportiert werden. Unter allen eVTOLs-Modellen erreicht dieses Design mit 300 km/h die höchste Geschwindigkeit. Zhou, Zhao und Liu¹² argumentieren, dass die aus der kippbaren Struktur resultierende Leichtigkeit der Flugmodusumwandlung die Manövrierfähigkeit verbessert, und dadurch ein Alleinstellungsmerkmal geschaffen wird. Die Studie von Grandl et al.¹³ weist zudem darauf hin, dass alle gekippten Strukturen eine hohe Komplexität mit sich bringen und ein erhöhtes Risiko eines einzelnen Ausfallpunkts haben. Diese Flugzeuge sind für längere Strecken geeignet und dienen dem Überlandverkehr oder Flughafen-Shuttle. Das prominenteste Beispiel für diese Kategorie ist der *Lilium Jet* mit einem festen Flügel und vektoriellem Schub.

5 Anwendungsbereiche von Passagierdrohnen: Wie können Passagierdrohnen eingesetzt werden?

Im Bereich der urbanen Luftmobilität haben sich mehrere potentielle Anwendungen für neue eVTOL-Flugzeuge herauskristallisiert. Sie unterscheiden sich deutlich in Bezug auf Entfernungen, Zielgruppen und zugrundeliegende Geschäftsmodelle. Dazu gehört sowohl der Kurzstreckenverkehr, zum Beispiel in Form von Flughafen-Shuttles (Verbindung von Flughäfen mit Stadtzentren), als auch der Langstreckenverkehr zwischen Städten. Darüber hinaus sind auch Kurzstrecken- und On-Demand-Punkt-zu-Punkt-Lufttaxibetriebe innerhalb von Städten möglich.

Case 1: Innerstädtischer Flugtaxi-Dienst

Bei dem innerstädtischen Flugtaxi-Dienst handelt es sich um einen Kurzstreckenbetrieb auf Abruf (beispielsweise per App), ähnlich wie bei den heute üblichen Ridehailing-Diensten mit nahezu allgegenwärtigen Optionen für gewünschte Abhol- und Absetzorte. In diesem Anwendungsfall finden die Flüge innerhalb einer Stadt statt, wobei alle verfügbaren Landeplätze innerhalb eines bestimmten Gebiets miteinander verbunden werden, um eine hohe Netzabdeckung zu erreichen. Dieser flexible Punkt-zu-Punkt-Service stellt Herausforderungen an das Luftverkehrsmanagement, da eine hohe Anzahl von Lufttaxis und möglichen Landeplätzen für einen erfolgreichen Betrieb erforderlich sind.

Ridehailing wird oft als moderne Alternative zum Taxi beschrieben. Bei diesen Diensten (bekannte Beispiele sind *Uber* und *Lyft*) wird über eine App ein Wagen mit Fahrer angefordert, der Personen gegen eine Gebühr transportiert.

Case 2: Airport Shuttles

In diesem Anwendungsfall werden Linienflüge zwischen Flughäfen und ausgewählten Landeplätzen in Stadtzentren angeboten. Dieser Anwendungsfall ist besonders interessant für Metropolen mit neuen Megahubs, die weit außerhalb der Stadtgrenzen liegen, wie in Peking und Istanbul, wo Passagiere lange Transitzeiten mit herkömmlichen Verkehrsmitteln in Kauf nehmen müssen. Das von *Volocopter* veröffentlichte Whitepaper zeigt, dass von den 100 bevölkerungsreichsten Städten der Welt 93 Städte gut für einen eVTOL-Flughafen-Shuttle-Service geeignet wären, da die typische Strecke zwischen Innenstadt und Flughafen meist weniger als 30 km beträgt.¹⁴ Die Drohnen müssten zwei bis vier Passagiere und zusätzliches Gepäck befördern, ihre Flugpläne an die Ankunfts- und Abflugzeiten des Flughafens anpassen und feste Flugpläne mit Optionen zur Vorbuchung der Slots anbieten. Eine Beeinträchtigung des Betriebs der kommerziellen Fluggesellschaften in der Nähe des Flughafens stellt hierbei die größte Herausforderung dar.

Als **Megahub** werden Flughäfen bezeichnet, die mehreren Fluggesellschaften als Drehscheibe dienen. In Europa sind dies beispielsweise London-Heathrow, Paris-Charles de Gaulle und Frankfurt/Main.

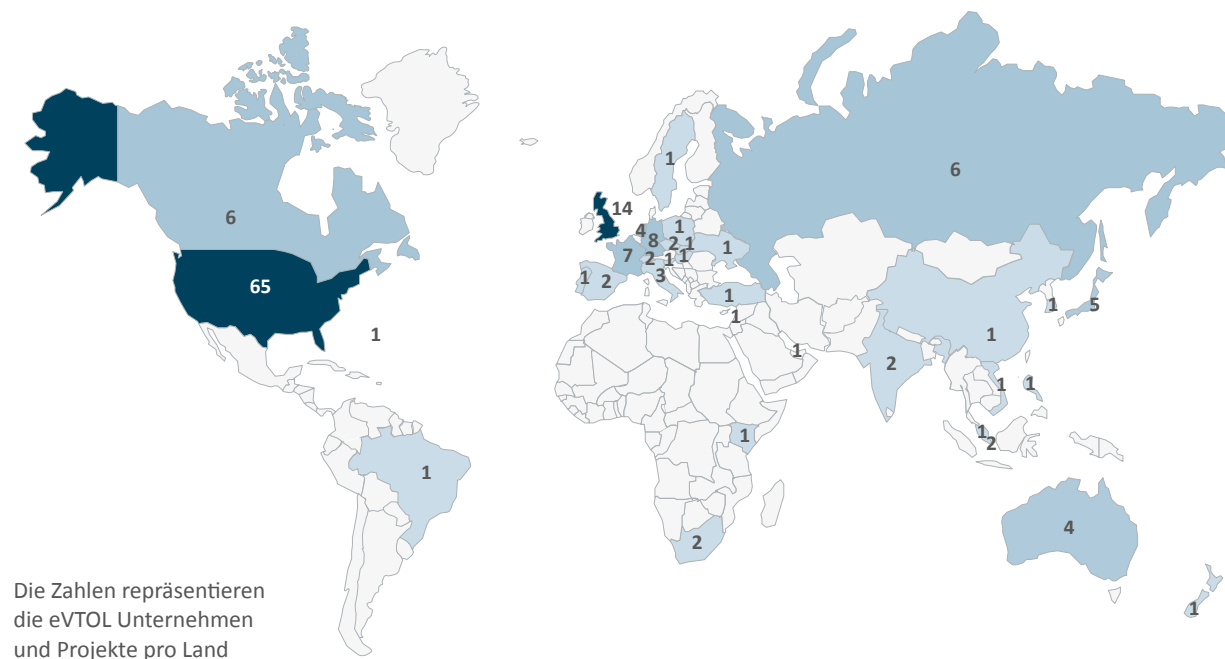
Case 3: Intercity-Flugbetrieb

In einem dritten Anwendungsfall verkehren die Drohnen nach einem festen Zeitplan. Drohnen bedienen Strecken zwischen ausgewählten Städten und Ballungsräumen, die für traditionelle Kurzstreckenflüge von Regionalfluggesellschaften zu kurz sind. Dieser Anwendungsfall richtet sich hauptsächlich an Langstreckenpendler und Geschäftsreisende, die ihre Reisezeiten deutlich verkürzen wollen. Allerdings argumentieren die Wissenschaftler auch, dass die längeren Flugdistanzen von etwa 80 bis 100 km einige technologische Herausforderungen mit sich bringen, zum Beispiel die Batteriereichweite des Flugzeugs.

6 Status Quo der Drohnen-Initiativen: Welche Initiativen sind am Markt bekannt?

Obwohl das Konzept der Passagierdrohnen erst vor wenigen Jahren entstanden ist, ist die Zahl der Startups, Luft- und Raumfahrtunternehmen und weiterer Organisationen, die eVTOL-Konzepte entwickeln, zuletzt sprunghaft angestiegen.

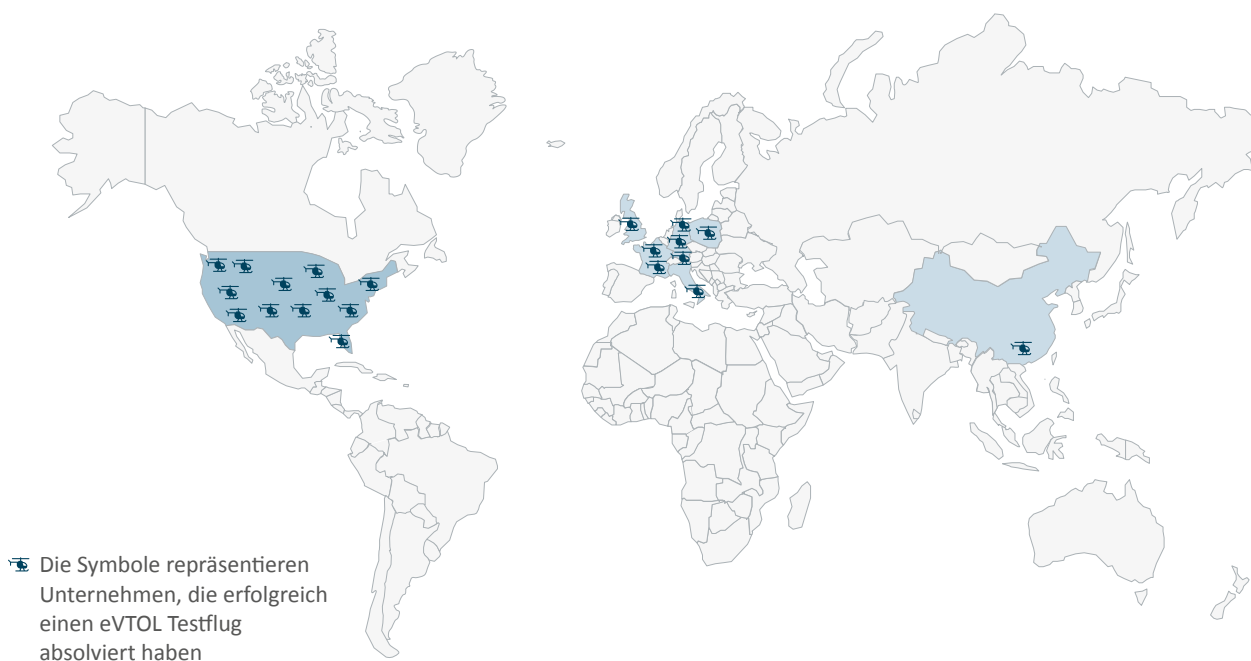
Abb. 3: Globale Karte von eVTOL Unternehmen und Projekten



Quelle: FERI Cognitive Finance Institute/Richter, 2021

Abbildung 3 zeigt insgesamt 153 Drohnen-Initiativen (Forschungs- und Industrieprojekte, die an eVTOL Technologien arbeiten) aus mehr als 30 Ländern. Die Mehrheit der Projekte ist in Nordamerika und Europa zu finden, wobei die USA mit 65 Initiativen führend sind. Die Vielfalt der einbezogenen Tätigkeiten ist groß und reicht von universitären Forschungs- und Entwicklerprojekten über mit Risikokapital finanzierten Startup-Unternehmen bis hin zu etablierten Unternehmen der Luft- und Raumfahrt. Dabei ist zu beachten, dass sich die meisten eVTOL-Projekte noch in einem sehr frühen Planungsstadium befinden. Entsprechend zeigt die Grafik die allgemeine Zugkraft in der Branche und vermittelt einen ersten Einblick in die große Anzahl der Projekte. Obwohl weltweit viele Unternehmen und Universitäten an dem Thema arbeiten, haben nur wenige Initiativen einen Prototypen entwickelt, der vom Boden abhebt. Insgesamt existieren lediglich ca. 20 Drohnen-Initiativen, die einen ersten Testflug absolvierten. Abbildung 4 zeigt, dass die meisten erfolgreichen Projekte in Nordamerika und Europa zu lokalisieren sind.

Abb. 4: Anzahl der durchgeführten eVTOL Testflüge nach Ländern



Quelle: FERI Cognitive Finance Institute/Richter, 2021

Wer sind die führenden Unternehmen bei der Entwicklung von Flugtaxis für zukünftige Lufttaxioperationen?

Aus technischer Sicht arbeiten viele Unternehmen an der Entwicklung von Passagierdrohnen, aber es gibt nur wenige Pilotprojekte. Führende Unternehmen sind solche, die ein tragfähiges Geschäftsmodell entwickeln können und mit genügend Finanzmitteln für die technologische Entwicklung ausgestattet sind, um ein skalierbares Produkt für den Betrieb von Drohnen in der Flotte zu liefern.

Joby Aviation und *Lilium* sind vielversprechende Akteure. Dagegen ist *Ehang* mit mehr als 140 angemeldeten Patenten technologischer Spitzenreiter. *Volocopter* hat mit 20 angemeldeten Patenten im Vergleich zu *Lilium* (vier Patente) ebenfalls eine hohe Innovationskraft.¹⁵ Auch die etablierten Konzerne arbeiten an Drohnenmodellen und sollten im Wettrennen um die Entwicklung von VTOLs nicht vernachlässigt werden. Etablierte Konzerne zeichnen sich durch ihre Erfahrung im Bereich der Flugzeugherstellung aus und können bei der Massenproduktion bereits heute hohe Qualitätsstandards nachweisen.

Tab. 1: Involvierte UAM Unternehmen im Überblick

Unternehmen	Unternehmensart	Gründungsjahr	Anzahl der Mitarbeiter	Modell	Land	Risikokapital in Millionen USD	Drohnetyp	Erster Testflug
Airbus A3	Konzern	2015	51-100	Vahana	USA	n.a.	Vectored Thrust	Jan 2018
Airbus Helicopter	Konzern	1992	> 200	City Airbus	France	n.a.	Wingless Multicopter	Mai 2019
Boeing (Aurora)	Konzern	1989	800	Pegasus PAV	USA	n.a.	Lift + Cruise	Jan 2019
EHang	Startup	2014	233	216	China	92	Wingless Multicopter	2015
Joby Aviation	Startup	2009	500	S4	USA	796	Vectored Thrust	Feb 2017
Lilium	Startup	2015	600	Lilium Jet	Germany	376	Vectored Thrust	Mai 2019
Volocopter	Startup	2007	150	VoloCity	Germany	440	Wingless Multicopter	Nov 2013

Quelle: Eigene Darstellung Richter, 2021

Joby Aviation

Joby Aviation ist ein amerikanisches Startup-Unternehmen der Luft- und Raumfahrt und Entwickler von elektrischen Drohnen für Lufttaxi-Dienste mit ca. 500 Mitarbeitern. Das Unternehmen wurde 2009 von Joe Ben Bevirt in Santa Cruz, Kalifornien (USA) gegründet. In den letzten Jahren hat Joby Aviation mehrere Drohnenarten getestet und verschiedene Prototypen gebaut, darunter den zweisitzigen S2 und den S4.¹⁶

Finanzierung

Die Gesamtfinanzierung beläuft sich auf 796 Millionen USD.¹⁷ In der letzten Finanzierungsrunde im Jahr 2020, angeführt von Uber und Toyota Motor Corporation, wurden 665 Millionen USD von Investoren aufgebracht. Neben Toyota und Uber gehören Jetblue Technology Ventures und Intel zu den Hauptinvestoren. Durch diese jüngste Runde wurde Joby Aviation zum ersten Unicorn.

Joby Aviation plant darüberhinaus noch 2021 durch den Zusammenschluss mit einem sogenannten SPAC, einer börsennotierten Mantelgesellschaft, an die Börse zu gehen. Bei der Übernahmegesellschaft sind bekannte Investoren wie der LinkedIn-Mitgründer Reid Hoffman und Zynga-Gründer Mark Pincus involviert. Durch die Transaktion ist die Bewertung nun auf 6,6 Milliarden USD angestiegen.¹⁸



Quelle: Joby Aviation (2020)

Joby Aviation S4 Modell

Ein **Einhorn** (englisch: Unicorn) bezeichnet ein Startup-Unternehmen mit einer Marktbewertung, vor einem Börsengang oder einem Exit, von über einer Milliarde USD.

Eine **Special Purpose Acquisition Company (SPAC)** ist ein Akquisitionszweckunternehmen bzw. eine Mantelgesellschaft, die zunächst Kapital über einen Börsengang einsammelt, um dieses in einem zweiten Schritt in die Übernahme eines Unternehmens zu investieren.

Lilium

Lilium ist ein deutsches Luft- und Raumfahrt-Startup-Unternehmen, das elektrische Drohnen entwickelt. Das Unternehmen wurde 2015 von Daniel Wiegand, Sebastian Born, Patrick Nathen und Matthias Meiner in München gegründet und fokussiert sich auf die Entwicklung von Passagierdrohnen. Bislang hat *Lilium* zwei Prototypen entwickelt, den *Eagle* und den *Lilium Jet*. Das Unternehmen beschäftigt heute mehr als 600 Mitarbeiter in seinen Büros in München und London.

Quelle: Lilium (2021)



Lilium Modell: Drohne mit Kipprotor

Finanzierung

Bis heute hat *Lilium* 376,4 Millionen USD¹⁹ an Risikokapitalinvestitionen aufgebracht und ist damit das zweitkapitalstärkste Unternehmen in der Branche. Mit einer Firmenbewertung von mehr als einer Milliarde USD gehört der deutsche Flugtaxi-Entwickler ebenfalls zu der Liga der Unicorns. Zu den Hauptinvestoren gehören *Tencent Holdings*, *Atomico*, *LGT Capital Partners*, *Obvious Ventures* und *Freigeist Capital*. Neuen Informationen zufolge plant auch das Münchner Flugtaxi-Startup über eine SPAC an die US-Börse NASDAQ zu gehen. *Lilium* befindet sich dazu in Gesprächen mit der US-Firma *Qell Acquisition Corp*. Durch die Übernahme kann neues Kapital am Aktienmarkt aufgenommen werden und die Bewertung auf mehr als 2 Milliarden USD steigen.²⁰

Volocopter

Volocopter ist ein führendes deutsches Startup-Unternehmen im Bereich der städtischen Luftmobilität, der elektrische Lufttaxis baut. *Volocopter* wurde 2007 von Stephan Wolf und Alexander Zosel in Bruchsal, Deutschland, gegründet. Im Jahr 2013 führte das Unternehmen den weltweit ersten Passagierflug eines vollelektrischen Multicopter durch. In den folgenden Jahren entwickelte und baute das Unternehmen mehrere Passagierdrohnen, darunter den *VC1*, den *VC200*, den *2X* und ihren neuesten Prototyp, den *VoloCity*. Heute beschäftigt das Unternehmen in seiner deutschen Zentrale mehr als 150 Mitarbeiter.

Quelle: Volocopter (2021)



Volocopter Modell: Multirotor-Drohne

Finanzierung

Insgesamt hat *Volocopter* bis heute knapp 440 Millionen USD²¹ an Risikokapital aufgebracht, wobei die letzte Runde im März 2021 rund 238 Millionen USD betrug (beteiligt waren hierbei u.a. Continental und Blackrock). Zu den Investoren gehören *Daimler*, *Intel*, *btov Partners*, *Zhejiang Geely Holding Group* und *DB Schenker*. Neben *Joby Aviation* und *Lilium* plant auch *Volocopter* über einen Börsengang per SPAC an mehr Kapital zu kommen, um die weitere Entwicklung voranzutreiben.²²

7 Marktpotential: Welche Nutzungspotentiale können sich am Markt entfalten?

Die Markteinführung von Passagierdrohnen ist durch verschiedene Phasen geprägt. Zunächst wird prognostiziert, dass ab 2022 ein Nischenmarkt abgedeckt wird. Während der UAM-Personenbeförderungsmarkt möglicherweise nicht vor 2030 profitabel wird, können einige Nischenszenarien, wie Premium-Geschäftsreisende, einen profitablen Business Case darstellen. Der Massenmarkt wird voraussichtlich in der Dekade von 2025 bis 2035 zu wachsen beginnen. Grandl et al. (2018) gehen davon aus, dass das Marktvolumen ab dem Jahr 2025 mit einer durchschnittlichen jährlichen Wachstumsrate (CAGR) von 35 % wächst und im Jahr 2035 ein **Gesamtvolumen von 32 Milliarden USD erreichen wird. Das Marktvolumen wird in diesem Szenario unterteilt in 11 Milliarden USD für den Intercity-Verkehr und 21 Milliarden USD²³**, die durch das Intracity-Segment generiert werden. Die Gesamtzahl der im Einsatz befindlichen eVTOL kann auf bis zu 23.000 Drohnen im Jahr 2035 ansteigen. Es wird prognostiziert, dass 45 % des Marktanteils in Großstädten auf die asiatisch-pazifischen Länder entfallen, gefolgt von den beiden amerikanischen Kontinenten mit 30 %. Die restlichen 25 % entfallen auf Europa und den Rest der Welt.

a) Zulieferer und OEMs

Die Produktionskosten für ein eVTOL werden je nach Designkonzept zwischen 250.000 USD und 1 Million USD betragen.²⁴ Holden und Goel²⁵ gehen von einem anfänglichen Verkaufspreis von 1,2 Millionen USD aus, der in naher Zukunft auf 600.000 USD und langfristig sogar auf 200.000 USD sinkt. Jede Verdopplung des Produktionsvolumens führt zu einer Reduktion der Produktionskosten um 15 %. Das *Volocopter*-Konzept wird auf 340.000 USD geschätzt, während das *eHang 216 AAV* einen Marktpreis von 300.000 USD erzielt.²⁶ Prognostiziert wird, dass ein eVTOL bis zu sechs Jahre auf dem Markt im Einsatz sein kann.

b) Flugdienstbetreiber

Betreiber werden eine Flotte von Drohnen von OEMs kaufen oder leasen, um den Transport von Passagieren durchzuführen. Die größten Herausforderungen bestehen darin, wettbewerbsfähige Preise anzubieten, Zugang zur UAM-Infrastruktur zu erhalten und die richtige Zielgruppe anzusprechen. Es gibt mehrere Arten der Geschäftsmodelle. Die erste Option ist ein klassisches **Pay-per-Mile-Modell**, ähnlich wie man es von Taxifahrten kennt. Es wird aber auch ein **Flatrate-Modell** diskutiert. Beim Flatrate-Modell würde der Fahrgast einen Festpreis für einen bestimmten Zeitraum zahlen und könnte dafür eine unbegrenzte Strecke fahren – ähnlich zur *BahnCard 100* der Deutschen Bahn.

Die Betriebskosten pro Flugkilometer werden mittelfristig auf etwa 2 USD pro Kilometer und Person geschätzt. Diese Kosten lassen sich auf Produktkosten (z. B. Batterie), Lösungsanbieterkosten (z. B. Landegebühren), Serviceanbieterkosten (z. B. Wartung) und Versicherung aufteilen. Die Wartungskosten sind im Vergleich zu Hubschraubern um 50 % niedriger. Xu²⁷ berechnet, dass ein *eHang 216* für zwei Passagiere einen jährlichen Umsatz von über 352.000 USD generieren könnte, während dabei Betriebskosten von 214.000 USD anfallen. Dies würde einen Betriebsgewinn von 138.000 USD pro Jahr generieren.

c) Dienstleister

Eine Vielzahl von Dienstleistungen, die aus der Luftfahrtindustrie bekannt sind, werden auch in UAM Anwendung finden. Frachtdienste für nicht ausgelastete Flüge und Chauffeurdienste für Passagiere zu und von Vertiports sind wahrscheinliche Szenarien. Service- und Landegebühren für die Nutzung und Aufladung der Vertiport-Infrastruktur

Unter **Vertiports** versteht man die flexible physische Landeinfrastruktur bzw. Knotenpunkte, um agil in die Städte zu gelangen.

werden vom Betreiber oder dem Infrastrukturanbieter erhoben. Ein weiteres mögliches Anwendungsfeld sind Versicherungsdienstleistungen für Passagiere, Betreiber, OEMs und Dritte. Darüber hinaus werden neue Akteure den UAM-Markt betreten: Während eines Fluges wird den Passagieren eine Vielzahl von **Zusatzdiensten** angeboten, die vor allem die Bereiche Komfort, Unterhaltung und Arbeit adressieren. Mobilitätsplattformen, die alle Mobilitätsoptionen innerhalb eines bestimmten Gebietes anzeigen, seien es Busverbindungen, Taxifahrten, U-Bahn-Fahrpläne oder die Verfügbarkeit von E-Scootern, gewinnen immer mehr an Bedeutung. Unternehmen, die solche Plattformen anbieten, profitieren von der neuen Technologie, ohne selbst eine Drohne besitzen zu müssen. Sie etablieren sich zwischen dem Kunden und den Anbietern von Drohnen als Intermediär und erhalten pro vermittelter Fahrt eine Gebühr.

8 Herausforderungen für die weitere Entwicklung: Welche Schwierigkeiten sind erkennbar?

Trotz der hohen Potentiale der Passagierdrohnen stehen der Implementierung des Verkehrsmittels noch einige Herausforderungen gegenüber. Die wohl größte Herausforderung ist es, ein Drohnen-Konzept zu entwickeln, das geforderte **Standards und Flugsicherheiten** erfüllen kann. Entsprechend müssen bei der Konstruktion eines neuen Flugzeugs alle Aspekte des Systems wie das Produktdesign, Ausbildung der Besatzung, Wartungsaspekte, Einsatz im Flugverkehrsmanagement und viele weitere berücksichtigt werden. Erst wenn die Mindestsicherheitsanforderungen, die von internationalen Luftfahrtbehörden wie der EASA oder der FAA festgelegt werden, erfüllt sind, erhält eine Drohne ihre Erlaubnis für den kommerziellen Betrieb. Obwohl die Sicherheitsanforderungen für alle Drohnenmodelle identisch sind, erfolgt die Zulassung einer Drohne für kommerzielle Zwecke für jedes Modell individuell.

Wettbewerbsvorteile ergeben sich für solche Unternehmen, denen es als erstes gelingt, die Zulassung für ihr Modell zu erhalten.

Darüber hinaus müssen noch grundlegende **technische Herausforderungen** gemeistert und die **grundlegende Technologie** stetig weiterentwickelt werden.

- Vor allem muss die **Batterieentwicklung** vorangetrieben werden, um die Laufzeiten der Drohne zu erhöhen und deren Gesamtgewicht zu verringern. Gewichtsreduktion und Erhöhung der Kapazität von Batterien führen dazu, dass Drohnen höhere Reichweiten haben und flächendeckender eingesetzt werden können. Für die Verwendung im ländlichen Raum ist deshalb die Entwicklung sehr **effizienter Batterien** entscheidend.
- Für den Einsatz von Drohnen innerhalb von dichtbesiedelten Städten ist es notwendig, dass der **Lärmpegel der Rotoren** weiter gesenkt wird. Die hohen Lärmemissionen durch Rotoren führen dazu, dass Hubschrauberflüge innerhalb von Städten oft begrenzt sind. Zwar sind elektrisch betriebene Drohnen aufgrund der geringeren Rotationsgeschwindigkeit ihrer Rotoren bis zu viermal leiser als ein herkömmlicher Hubschrauber, dennoch werden die Anforderungen an den innerstädtischen Lärmpegel derzeit noch nicht erreicht. Ein zukünftiges Differenzierungsmerkmal zwischen den unterschiedlichen Modellen besteht demnach darin, welches Unternehmen die **leiseste Drohne** entwickelt und bereitstellen kann.

Eine weitere Herausforderung ist die **Bereitstellung und der Betrieb der Infrastruktur**, die sowohl die Bodeninfrastruktur (Vertiports) als auch das Flugmanagement von mehreren Drohnen innerhalb von Städten umfasst. Insgesamt müssen dazu **Metropolen intelligenter** werden. Daten und Konnektivität spielen dabei eine entscheidende Rolle, denn sie ermöglichen

den Status der Drohnen zu bestimmen, die Nachfrage zu verwalten und Flugwege zu planen. Dazu ist ein leistungsfähiges **5G-Netz** notwendig, um schnelle Verbindungen zwischen den Verkehrssystemen und -beteiligten zu garantieren.

Auch die **öffentliche Akzeptanz** und die Nutzerakzeptanz stellt eine weitere Herausforderung dar. Der Einstieg in eine autonom fliegende Drohne ist für viele Menschen heute noch unvorstellbar, auch wenn die Drohnen in den Anfangsjahren noch von Piloten geflogen werden.

In den Jahren ab 2030 werden die Drohnen schrittweise automatisiert. Das bedeutet, dass Drohnen zunächst aus Steuerungs- und Kontrollzentren gelenkt werden und ab dem Jahr 2035 bis 2040 vollautomatisiert fliegen.

Offensichtlich spielt auch die Frage der **kurzfristig verfügbaren Finanzkraft** für die Durchsetzung einzelner UAM-Konzepte eine wichtige Rolle. Die Durchführung aufwändiger Tests und Probeflüge für den Zertifizierungsprozess sowie der schnelle Aufbau einer flugfähigen Drohnen-Flotte sind für den Erfolg von entscheidender Bedeutung und erfordern erhebliche Finanzmittel. Auch müssen noch einige Zeit gezielte Forschungsanstrengungen vorfinanziert werden, insbesondere im Bereich leistungsfähigerer und leichter Batterien. Neben der technologischen Prozessbeherrschung ist somit auch der schnelle Zugang zu großen Finanzmitteln ein klarer Erfolgsfaktor für UAM-Anbieter. Die Tatsache, dass drei der führenden Pionierunternehmen – trotz ihres Startup-Charakters – inzwischen bereits kurz vor einem **Börsengang** stehen, unterstreicht diesen Punkt sehr deutlich.

9 *Treiber und Tipping Points der VTOL Implementierung: Welche Weichenstellungen sind essentiell?*

Die zentralen Tipping Points für die weitere Entwicklung liegen derzeit im **Skalierungspotential** der Drohnenproduktion (Antriebssysteme, technische Weiterentwicklung, finanzielle Unterstützung) sowie in der zeitnahen Implementierung einer geeigneten **Infrastruktur** (Start- und Landepunkte, Traffic Management, Datennetze, Regulatorik). Wichtige Treiber für die Implementierung von Drohnen sind **Länder und Standorte**, die **geringe regulatorische Hürden** bieten und an einer schnellen Implementierung von Drohnen interessiert sind, um aktuelle Verkehrsprobleme zu lösen. Standorte, die derzeit die Pilotierung von Passagierdrohnen fördern, sind Singapur, Dubai oder auch Sao Paulo. Erste Pilotierungen werden bereits im Jahr 2022 erwartet. Europäische Städte werden höchstwahrscheinlich nicht Teil dieser Phase sein, da die regulatorischen Hürden bisher zu groß sind.

Ein kommerzieller Betrieb in größerem Umfang wird zwischen 2025 und 2030 erwartet.

Entscheidend in dieser Phase ist die **Skalierung der Drohnenproduktion**. Um die Technologie in mehreren Städten parallel zu implementieren, ist es notwendig, dass mehrere Tausend Drohnen pro Jahr kostengünstig produziert werden. Hierzu ist die Zusammenarbeit zwischen OEMs und Technologieunternehmen von großer Bedeutung, um Synergien zu nutzen.

Darüber hinaus wird die Implementierung auch von der benötigten Infrastruktur abhängig sein. **Start- und Landeinfrastruktur (Vertiports)** muss in den Städten zur Verfügung gestellt werden. Vertiports werden für die urbane Luftverkehrsmobilität von entscheidender Bedeutung sein, doch während für eVTOL-Flugzeuge in gewissem Umfang Regulierungen

existieren, gibt es für die Konstruktion und den Betrieb von Vertiports bisher nur sehr wenige Vorschriften oder Richtlinien. Bis heute liegt es in den meisten Fällen in der Verantwortung des eVTOL-Herstellers oder Vertiport-Betreibers, erste Machbarkeitsstudien und Bewertungen der Infrastruktur und des Betriebs durchzuführen.

Die Automatisierungsphase der Drohnen wird hauptsächlich durch die Fortschritte in der **Koordinierung des Luftraums, durch das Traffic Management** getrieben. Fluglotsen alleine können unbemannte Drohnen nicht koordinieren. Eine Interaktion zwischen den Drohnen und der Infrastruktur muss geschaffen werden, damit die Kommunikation reibungslos läuft. Entsprechend werden hohe Anforderungen hinsichtlich Bandbreite und Datenübertragung an den Luftraum gestellt. Dazu ist der **Ausbau der 5G-Netztechnik** von großer Bedeutung.

10 Welche potentiellen Auswirkungen haben diese Entwicklungen?

Elektrisch betriebene Lufttaxis gelten als vielversprechende Lösung, wenn es um die Entlastung urbaner Verkehrsströme geht. In der gesamten Debatte um die Entwicklung der Urban Air Mobility gibt es entlang der Verwertungs- und Nutzungskette einige wesentliche Veränderungspotentiale.

Potentiell entsteht durch UAM ein Milliardenmarkt, der traditionellen Verkehrsbetreibern alternative Geschäftsmodelle ermöglicht, aber auch neue und oftmals sehr innovative Mitspieler in den Markt eintreten lässt.

Insgesamt werden dadurch **zahlreiche disruptive Veränderungen** ausgelöst:

- Flächendeckende Verbreitung von Passagierdrohnen wird Städte disruptiv verändern: Neue Mobilitätsknoten („Hubs“) entstehen an Bahnhöfen, Flugplätzen und viel besuchten Orten wie Stadien und Messen. Gleichzeitig werden flexible Zubringerdienste und „Air Shuttles“ von peripheren Standorten zu den zentralen Hubs attraktiver.
- Speziell in weitläufigen Metropolregionen, ausgedehnten Agglomerationen und flächenmäßig großen Stadtgebieten, aber auch in landschaftlich eher „zerklüfteten“ Großstädten könnten Flugdrohnen urbane Logistik deutlich schneller und effizienter organisieren.
- Dächer von Hochhäusern können in Innenstädten problemlos als Start- und Landefläche genutzt werden. So könnten Firmen und private Immobilienbesitzer individuelle Start- und Landeplätze auf ihren Gebäuden anbieten.
- Durch automatisierte Drohnen lassen sich größere Distanzen schneller überwinden. Damit sind Menschen nicht mehr darauf angewiesen, in einer Stadt oder im urbanen Raum zu leben. Entsprechend wird das stadtferne Umland für Pendler und andere Berufsgruppen attraktiver.
- Die Reisezeit in Flugdrohnen kann sinnvoll für individuelle Tätigkeiten genutzt werden. Dadurch können neue Anbieter wiederum werthaltige Dienstleistungen „on the flight“ verkaufen.

- ▶ *Zusammenfassend wird deutlich, dass die neue Technologie autonomer Flugdrohnen künftig noch sehr weitreichende Implikationen entfalten könnte. Gleichzeitig sind aber auch viele Detailfragen noch klärungsbedürftig und müssen adressiert oder gelöst werden. Dies betrifft u.a. das Antriebssystem, die Batterieleistung, den Lärmpegel sowie Datennetze, Steuerung und die Luftraumüberwachung.*

Mit erfolgreichen „Use Cases“ durch Einsatz von Passagierdrohnen ist vorerst primär in ausgewählten Regionen der Welt zu rechnen, die eine **Vielzahl spezieller Kriterien** erfüllen. Dazu zählen topographische Besonderheiten, Innovationsfreude und Technologieoffenheit, hohe Dichte kommerzieller Strukturen, überdurchschnittliche Konzentration von Kaufkraft, Verfügbarkeit schneller Datennetze sowie innovationsfreundliche Regulierung. Einige Großstädte und Metropolregionen in China/Südostasien, den USA und den VAE sind damit prädestiniert für den erstmaligen Einsatz innovativer UAM-Systeme. Sofern sich das Konzept der Passagierdrohnen in diesen Regionen bewährt, dürfte aber einer erfolgreichen Durchsetzung auch auf anderen Märkten und in anderen Regionen nicht mehr viel im Wege stehen.

Vermögenshaber und Investoren sollten die neuen Trends im Kontext von UAM offen zur Kenntnis nehmen und alle weiteren Entwicklungen in diesem Bereich sehr aufmerksam verfolgen. Da führende UAM-Anbieter (*Joby Aviation; Lilium*) inzwischen eine **Börsennotierung** anstreben oder bereits erhalten haben, meist über das Instrument börsennotierter Zweckgesellschaften (SPACs), wird das Thema Urban Air Mobility **auch für Investoren zunehmend greifbar und relevant**.

Gleichzeitig wird klar, dass attraktives Investmentpotential nicht nur in der neuen eVTOL-Technologie liegt, sondern auch in anderen Branchen und Industrien, die eher indirekt betroffen sind. Dazu zählen die Immobilienbranche, aber auch die Unterhaltungs- und Medienindustrie sowie weitere spezialisierte Service-Anbieter.

11 Fazit

Die 2020er Jahre stehen im Zeichen neuer Technologien und massiv veränderter Mobilitätskonzepte. Dieser Punkt zeigt sich exemplarisch beim beschleunigten Wandel der Automobilantriebe hin zu batterieelektrischer Mobilität (E-Mobilität).

Ein ähnlicher **Paradigmenwechsel** könnte sich **im Bereich urbaner Mobilität** vollziehen. Dort wird sich in den nächsten Jahren das bisherige Verständnis von „Kurzstreckenverkehr“ grundlegend verändern:

- zunehmende Urbanisierung,
- Individualisierung,
- regulative Anforderungen und
- neue Technologien

fungieren dabei als wichtige Treiber. Statt eigene Fortbewegungsmittel zu besitzen, fragen Passagiere schnelle, leicht zugängliche und individualisierte Transportmöglichkeiten nach. Dieser Wandel ist im automobilen Bereich bereits klar erkennbar und hat zum Aufstieg neuer Mobilitätskonzepte und -anbieter beigetragen (Bsp. *Uber, Lyft*).

Das Konzept der Urban Air Mobility könnte künftig dazu beitragen, bisherige urbane Transport- und Mobilitätssysteme noch wesentlich radikaler zu verändern.

Die Nutzung des Luftraums als „dritte Dimension“ mit Hilfe von Flugdrohnen schafft völlig neue und sehr agile Möglichkeiten urbaner Mobilität. Drohnen sind prinzipiell eine gute Alternative zu herkömmlichen Transportmitteln. Sie bieten die

Chance, Mobilität zu elektrifizieren und machen das Reisen auf kurzen Strecken nachhaltiger, kostengünstiger und schneller. Darüber hinaus eröffnen Drohnen die Möglichkeit, dicht besiedelte Städte von Verkehrschaos und hoher Schadstoffbelastung zu befreien.

Außerstädtisch dienen Flugdrohnen als neue Verkehrsmittel, mit denen sich Strecken bedienen lassen, die zu weit für eine tägliche Autofahrt sind, aber zu kurz, um sie mit dem Flugzeug zurückzulegen. Entsprechend könnten Flugdrohnen bei Entfernungen zwischen 200 und 300 Kilometern („Intercity“) zukünftig ein wichtiges Transportmittel im Sinne „fliegender ICEs“ werden. Voraussetzung ist allerdings, dass die **Entwicklung der Batterietechnologie** in den nächsten Jahren weiter in Richtung Effizienzsteigerung voranschreitet.

Flugdrohnen gehören zu den bedeutendsten technologischen Innovationen der letzten Jahre.

Sie eröffnen neue, bisher unbekannte Perspektiven in zahlreichen Anwendungsbereichen. Wichtige Voraussetzungen für die langfristige Verbreitung von Passagierdrohnen sind **erfolgreiche Pilotprojekte** in topographisch und technologisch affinen Regionen. Dazu zählen vorerst größere Agglomerationen, Metropolregionen und Mega-Cities in Asien, Lateinamerika, den USA und den VAE.

Andere wichtige Erfolgsfaktoren und „Tipping Points“ für den weiteren Fortschritt der Urban Air Mobility liegen vor allem im Bereich der Entwicklung der **Kommunikationsnetzwerke** sowie von technologischen Weiterentwicklungen der Drohnen, die auf **Lärmreduktion** und höhere **Reichweiten** zielen.

Dieser kurze Überblick über Chancen und Risiken von Urban Air Mobility (im Allgemeinen) sowie Potentiale der Passagierdrohnen und entsprechender Anbieter (im Speziellen) deutet auf ein **massives Disruptionspotential**. Größere Herausforderungen kommen insbesondere auf die traditionellen Akteure der Automobil- und Luftfahrtindustrie zu, die auf den Wandel reagieren und ihre Dienstleistungsangebote schnell erweitern und anpassen müssen.

Sollten sich Drohnen beschleunigt am Markt durchsetzen, wird sich die neue Technologie noch auf weitaus mehr Industrien auswirken. Unternehmer und Investoren sollten diese disruptive Konstellation keinesfalls unterschätzen. Ein spezieller Reiz der Situation liegt darin, dass – entgegen sonst üblicher Verlaufsmuster – erste Pionierunternehmen bereits in Kürze an der Börse gehandelt werden könnten.

„Wir haben eine enorme Chance und Verantwortung, die ersten hundert Jahre der Luftfahrt zu disruptieren.“

Steve Nordlund, Vice President & General Manager Boeing NeXt

Erläuterungen

- ¹ Vascik (2018).
- ² UN Habitat (2013).
- ³ INRIX (2019).
- ⁴ Diamandis et al. (2020).
- ⁵ Demling et al. (2021).
- ⁶ Europäisches Parlament (2020).
- ⁷ Alltucker (2019).
- ⁸ Booz Allen Hamilton (2018).
- ⁹ Kadhiresan et al. (2019).
- ¹⁰ Shamiyeh et al. (2018).
- ¹¹ Grandl et al. (2018).
- ¹² Zhou et al. (2020).
- ¹³ Grandl et al. (2018).
- ¹⁴ Boelens (2019).
- ¹⁵ Holzki et al. (2021).
- ¹⁶ Joby Aviation (2020).
- ¹⁷ Crunchbase (2021a).
- ¹⁸ Koenen (2021).
- ¹⁹ Crunchbase (2021b).
- ²⁰ Manager Magazin (2021).
- ²¹ Crunchbase (2021c).
- ²² Schlenk (2021).
- ²³ Grandl et al. (2018).
- ²⁴ Grandl et al. (2018).
- ²⁵ Holden und Goel (2016).
- ²⁶ Kinjo (2018).
- ²⁷ Xu (2020).

Literaturverzeichnis

Bücher und Publikationen

Booz Allen Hamilton (2018): Final Report Urban Air Mobility (UAM) Market Study, erschienen im November 2021, <https://ntrs.nasa.gov/search.jsp?R=20190001472>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Diamandis, P. / Kotler, S. (2020): Future is Faster than You Think. How Converging Technologies are Transforming Business, Industries, and our Lives, veröffentlicht bei Simon & Schuster Paperbacks, erschienen im Januar 2020.

Grandl, G. / Ostgathe, M. / Cachay, J. / Doppler, S. / Salib, J. / & Ross, H. (2018): The Future of Vertical Mobility, veröffentlicht von Porsche Consulting, erschienen im Jahr 2018, https://www.porsche-consulting.com/fileadmin/docs/04_Medien/Publikationen/TT1371_The_Future_of_Vertical_Mobility/The_Future_of_Vertical_Mobility_A_Porsche_Consulting_study__C_2018.pdf, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Holden, J. & Goel, N. (2016): Uber Elevate – Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation, veröffentlicht von Uber, erschienen im Oktober 2016, <https://www.uber.com/elevate.pdf>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Kadhiresan, A. R. / Duffy, M. J. (2019): Conceptual Design and Mission Analysis for eVTOL Urban Air Mobility Flight Vehicle Configurations, veröffentlicht bei AIAA Aviation 2019 Forum, 1–19., erschienen im Jahr 2019, <https://doi.org/10.2514/6.2019-2873>, zuletzt abgerufen am 12.03.2021.

Shamiyeh, M. / Rothfeld, R. / Hornung, M. (2018): A Performance Benchmark of Recent Personal Air Vehicle Concepts for Urban Air Mobility. Paper Presented at the 31st Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences, ICAS 2018, 1–12, erschienen im September 2018, https://www.icas.org/ICAS_ARCHIVE/ICAS2018/data/papers/ICAS2018_0794_paper.pdf, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

UN Habitat (2013): The Relevance of Street Patterns and Public Space in Urban Areas. UN-Habitat Working Paper, veröffentlicht bei UN Habitat, erschienen im April 2013, <https://mirror.unhabitat.org/downloads/docs/StreetPatterns.pdf>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Vascik, P. D. / Balakrishnan, H. / Hansman, R. J. (2018): Assessment of Air Traffic Control for Urban Air Mobility and Unmanned systems, Cambridge, USA: MIT International Center for Air Transportation (ICAT), erschienen im Juni 2018.

Zhou, Y. / Zhao, H. / Liu, Y. (2020): An Evaluative Review of the VTOL Technologies for Unmanned and Manned Aerial Vehicles, veröffentlicht in Computer Communications, erschienen im Oktober 2019, 149, 356–369, <https://doi.org/10.1016/j.comcom.2019.10.016>.

Zeitungsartikel und Internetquellen

Alltucker, K. (2019): Fear and Health Care: Gallup Survey Finds Americans Skipped Treatment, Borrowed \$88B to Pay for Costs, veröffentlicht bei www.eu.usatoday.com, erschienen am 02.04.2019, <https://eu.usatoday.com/story/news/health/2019/04/02/health-care-costs-gallup-survey-americans-borrowed-88-billion/3333864002/>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Boelens, J.-H. (2019): Pioneering the Urban Air Taxi Revolution (Volocopter Whitepaper), veröffentlicht bei Volocopter, erschienen im Jahr 2019, <https://press.volocopter.com>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Crunchbase (2021a): Joby Aviation, <https://www.crunchbase.com/organization/joby-aviation>, zuletzt abgerufen am 19.03.2021.

Crunchbase (2021b): Lilium, <https://www.crunchbase.com/organization/lilium-aviation>, zuletzt abgerufen am 19.03.2021.

Crunchbase (2021c): Volocopter, <https://www.crunchbase.com/organization/volocopter>, zuletzt abgerufen am 19.03.2021.

Demling, A. / Holzki, L. / Koenen, J. (2021): 1,50 Euro pro Kilometer: Dieses US-Start-up will Fliegen billiger machen als eine Taxi-Fahrt in Berlin, veröffentlicht im Handelsblatt, erschienen am 16.03.2021, <https://www.handelsblatt.com/technik/forschung-innovation/mobilitaet-der-zukunft-1-50-euro-pro-kilometer-dieses-us-start-up-will-fliegen-billiger-machen-als-eine-taxi-fahrt-in-berlin/27005090.html?ticket=ST-1792000-QRb9sS9vHb3JG9LeqeFd-ap4>, zuletzt abgerufen am 16.03.2021.

Europäisches Parlament (2019): Neue Pkws sollen EU-Emissionsgrenzwerte unter realen Fahrbedingungen einhalten, veröffentlicht vom Europäischen Parlament, erschienen am 17.09.2020, <https://www.europarl.europa.eu/news/de/press-room/20200910IPR86824/neue-pkws-sollen-eu-emissionsgrenzwerte-unter-realen-fahrbedingungen-einhalten>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Holzki, L. / Koenen, J. (2021): Joby Aviation, Volocopter, Lilium. Diese Flugtaxi-Firmen drängen auf den Markt, veröffentlicht im Handelsblatt, erschienen am 03.02.2021, <https://www.handelsblatt.com/technik/digitale-revolution/digitale-revolution-joby-aviation-volocopter-lilium-diese-flugtaxi-firmen-draengen-auf-den-markt/26870694.html?ticket=ST-4835269-2QfclDcwctfnJEeAJItU-ap4>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

INRIX (2019): Los Angeles Tops INRIX Global Congestion Ranking, veröffentlicht bei INRIX, erschienen im Februar 2018, <https://inrix.com/press-releases/scorecard-2017/>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Joby Aviation (2020): About, veröffentlicht von Joby Aviation, <https://www.jobyaviation.com/#about>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Kinjo, H. (2018): Development Trends and Prospects for eVTOL, veröffentlicht von Misui, erschienen am 18.07.2019, https://www.mitsui.com/mgssi/en/report/detail/_icsFiles/afieldfile/2019/07/18/1906m_kinjo_e.pdf, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Koenen, J. (2021): Flugtaxi-Firma Joby Aviation geht über Spac an die Börse, veröffentlicht im Handelsblatt, erschienen am 24.02.2021, <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/handel-konsumgueter/lilium-rivale-flugtaxi-firma-joby-aviation-geht-ueber-spac-an-die-boerse/26947716.html?ticket=ST-1674382-UQ9yLDdSSAXsNP2DTsDf-ap4>, zuletzt abgerufen am 16.03.2021.

Lilium (2021): <https://lilium.com/the-jet>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Manager Magazin (2021): Deutsche Flugtaxi-Firma Lilium will im Eiltempo an die Nasdaq, erschienen am 04.03.2021, <https://www.manager-magazin.de/unternehmen/tech/lilium-flugtaxi-start-up-vor-boersengang-per-spac-durch-fusion-mit-qell-a-6ddcb118-edf9-4a2a-ba3b-c32511d73eb5>, zuletzt abgerufen am 16.03.2021.

Schlenk, C. (2021): Plant Volocopter den Sprint an die Börse? Veröffentlicht von n-tv, erschienen am 18.03.2021, <https://www.n-tv.de/wirtschaft/Plant-Volocopter-den-Sprint-an-die-Boerse-article22434796.html>, zuletzt abgerufen am 19.03.2021.

Volocopter (2021): <https://www.volocopter.com/de/product/>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Xu, H. (2020): White Paper on Urban Air Mobility Systems, veröffentlicht von Ehang, erschienen im Januar 2020, <https://www.ehang.com/app/en/EHang%20White%20Paper%20on%20Urban%20Air%20Mobility%20Systems.pdf>, zuletzt abgerufen am 25.02.2021.

Abkürzungsverzeichnis

CAGR	Compound annual growth rate: durchschnittliche jährliche Wachstumsrate	OEM	Original Equipment Manufacturer: Originalausrüstungshersteller
DEP	Distributed Electric Propulsion: verteilter Elektroantrieb	SPAC	Special Purpose Acquisition Company: Akquisitionszweckunternehmen bzw. Mantelgesellschaft, die zunächst Kapital über einen Börsengang einsammelt
EASA	European Union Aviation Safety Agency: Europäische Luftfahrtaufsicht		
(e)VTOL	(electric-powered) vertical take off and landing: elektrische, vertikal startende und landende Drohnen	UAM	Urban Air Mobility: Städtische Luftmobilität

Impressum

Herausgeber: FERI Cognitive Finance Institute

Autor: Dr. Maximilian Alexander Richter, Projektleiter und wissenschaftlicher Mitarbeiter für Neue Mobilität, Universität St. Gallen
Mai 2021

Bisherige Publikationen im FERI Cognitive Finance Institute:

Studien:



1. Carbon Bubble und Dekarbonisierung (2017)
2. Overt Monetary Finance (OMF) (2017)
3. Die Rückkehr des Populismus (2017)
4. KI-Revolution in der Asset & Wealth Management Branche (2017)
5. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“ (2018)
6. Die Transformation zu einer kohlenstoffarmen Wirtschaft, (2018)
7. Wird China zur Hightech-Supermacht? (2018)
8. Zukunftsrisiko „Euro Break Up“, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2018)
9. Risikofaktor USA (2018)
10. Impact Investing: Konzept, Spannungsfelder und Zukunftsperspektiven (2019)
11. „Modern Monetary Theory“ und „OMF“ (2019)
12. Alternative Mobilität (2019)
13. Digitalisierung – Demographie – Disparität (2020)
14. „The Great Divide“ (2020)
15. Zukunftstrend „Alternative Food“ (2020)
16. Digitalisierung – Demographie – Disparität, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage (2020)
17. „The Great Progression“ (2021)

Cognitive Comments:



1. Network Based Financial Markets Analysis (2017)
2. Zwischen Populismus und Geopolitik (2017)
3. „Neue Weltordnung 2.0“ (2017)
4. Kryptowährung, Cybermoney, Blockchain (2018)
5. Dekarbonisierungsstrategien für Investoren (2018)
6. Innovation in blockchain-based business models and applications in the enterprise environment (2018)
7. Künstliche Intelligenz, Quanten-Computer und Internet of Things - Die kommende Disruption der Digitalisierung (2019)
8. Quantencomputer, Internet of Things und superschnelle Kommunikationsnetze (2019)
9. Was bedeutet die CoVID19-Krise für die Zukunft? (2020)
10. Trouble Spot Taiwan – ein gefährlich unterschätztes Problem (2021)
11. Urban Air Mobility – Flugdrohnen als Transportmittel der Zukunft (2021)

Cognitive Briefings:



1. Ressourcenverbrauch der Digital-Ökonomie (April 2020)
2. Globale Bifurkation oder „New Cold War“? (Mai 2020)
3. Digitaler Euro: Das Wettrennen zwischen Europäischer Zentralbank und Libra* Association (Dezember 2020)



FERI Cognitive Finance Institute
Das strategische Forschungszentrum der FERI Gruppe
Haus am Park
Rathausplatz 8 – 10
61348 Bad Homburg v.d.H.
Tel. +49 (0)6172 916-3631
info@feri-institut.de
www.feri-institut.de



Rechtliche Hinweise: Alle Angaben und Quellen werden sorgfältig recherchiert. Für Vollständigkeit und Richtigkeit der dargestellten Information wird keine Gewähr übernommen. Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt. Jede weitere Verwendung, insbesondere der gesamte oder auszugsweise Nachdruck oder die nicht nur private Weitergabe an Dritte, ist nur mit vorheriger schriftlicher Zustimmung von FERI gestattet. Die nicht autorisierte Einstellung auf öffentlichen Internetseiten, Portalen oder anderen sozialen Medien ist ebenfalls untersagt und kann rechtliche Konsequenzen nach sich ziehen. Die angeführten Meinungen sind aktuelle Meinungen, mit Stand des in diesen Unterlagen aufgeführten Datums. FERI AG, Stand 2021