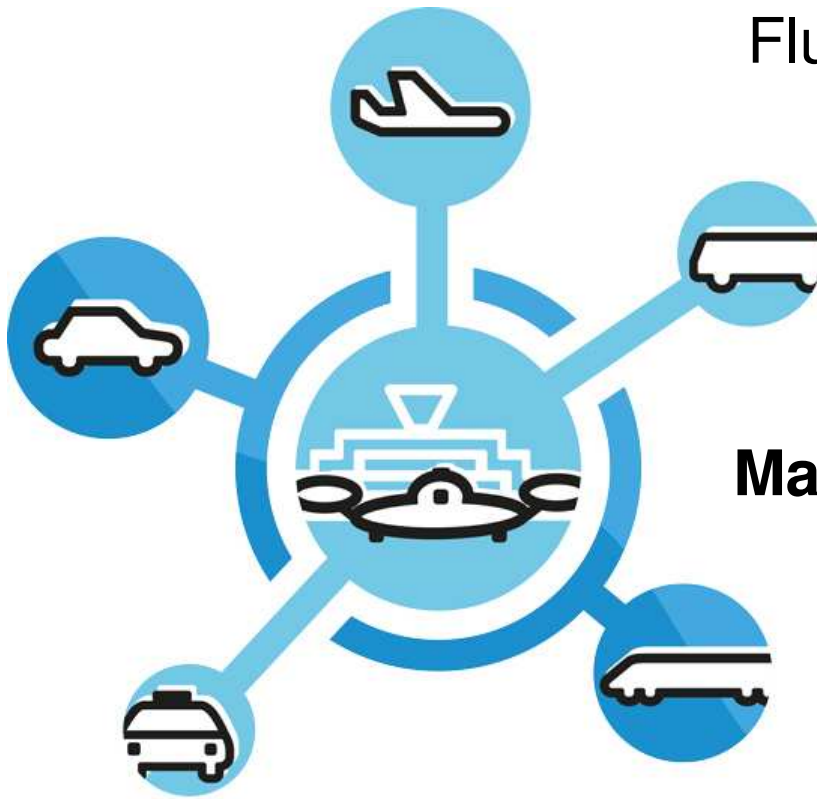


Flughafen Köln/Bonn Flugtaxi Infrastruktur FKBFTI



Machbarkeitsstudie

Köln Bonn Airport
Flugtaxi Infrastruktur

Laufzeit des Projektes
07/2019-02/2020

Ausführende Stellen
Flughafen Köln/Bonn GmbH (FKB)

Lehrstuhl für Flughafenwesen und Luftverkehr
Verkehrswissenschaftliches Institut
der RWTH Aachen (VIA)

Projektleitung
Winfried Finkeldei, Dipl.-Ing. (FH) | FKB

Autoren
Winfried Finkeldei, Dipl.-Ing. (FH) | FKB
Eva Feldhoff, M.Sc. | VIA
Gonçalo Soares Roque, M.Sc. | VIA

I Inhaltsverzeichnis

I Inhaltsverzeichnis.....	i
II Abbildungsverzeichnis.....	v
III Tabellenverzeichnis.....	vii
IV Abkürzungen	ix
1 Kurzfassung.....	1
2 Einleitung	3
2.1 Motivation	3
2.2 Ausgangslage	4
3 Entwicklung des Basisszenarios.....	7
3.1 Ermittlung der potentiellen Passagiernachfrage	7
3.2 Ermittlung der potentiellen Flugziele	12
3.3 Merkmale relevanter Fluggeräte	15
3.3.1 Stand der Technik.....	15
3.3.2 Auswahl der betrachteten eVTOLs	17
3.3.2.1 Relevanz für die Machbarkeit am FKB	17
3.3.2.2 Mögliches Einsatzspektrum	19
4 Anforderungen an Flugbetriebsflächen	23
4.1 Genehmigung zu Anlage und Betrieb von Landeplätzen.....	23
4.2 Auswahlkriterien für Vertiport-Standorte.....	26
4.3 Anforderungen an Start- und Landefläche.....	27
4.4 Anforderungen an Stellplätze und Parkpositionen.....	28
4.4.1 Anzahl erforderlicher Stellplätze.....	30
4.4.2 Anzahl erforderlicher Parkpositionen.....	33

4.4.3 Anforderungen aus dem operativen Flugbetrieb.....	35
4.5 Instandhaltungsstandorte	37
5 Bewertung potentieller Standorte	39
5.1 Eingrenzung potentieller Standorte	39
5.2 Bewertung von möglichen Standorten.....	40
5.3 Ausgeschlossene Standorte	42
5.3.1 Parkhaus <i>P1</i>	42
5.3.2 Mitarbeiterparkplatz <i>P5</i>	43
5.3.3 <i>Busbahnhof</i>	43
5.3.4 <i>Hotel</i>	44
5.4 Favorisierte Standorte.....	44
5.4.1 Parkhaus <i>P2</i>	44
5.4.2 Parkhaus <i>P3</i>	45
5.5 Beispielhafte Dimensionierung an den favorisierten Standorten.....	45
5.5.1 Parkhaus <i>P2</i>	45
5.5.1.1 Parkhaus <i>P2</i> Abschnitt 1	46
5.5.1.2 Parkhaus <i>P2</i> Abschnitt 2.....	47
5.5.2 Parkhaus <i>P3</i>	47
5.5.3 Hindernisbetrachtung für die betrachteten Standorte	48
5.5.3.1 Hindernisse Parkhaus <i>P2</i> Abschnitt 2	50
5.5.3.2 Hindernisse Parkhaus <i>P3</i> Abschnitt 1	50
5.5.4 Vertiport Empfehlung	51
6 Anforderungen an Luftraum und Flugbetrieb.....	53
6.1 Definition von An- und Abflugrouten.....	53
6.2 Definition von flugbetrieblichen Regularien und Prozeduren	56
7 Betriebliche Anforderungen an die Passagierabfertigung	61
7.1 Definition des Anwendungsszenarios.....	61
7.2 Anforderungen an die Vertiport-Landseite und Terminalinfrastruktur.....	62

8 Simulation des Passagier- und Flugbetriebs am Vertiport.....	67
8.1 Vorgehen und Durchführung der Simulation	67
8.2 Ergebnisse und Bewertung der Simulation.....	70
9 Fazit	73
9.1 Zusammenfassung der Anforderungen und Festlegungen.....	73
9.2 Zusammenfassung der Ergebnisse.....	74
9.3 Handlungsempfehlungen und Bewertung der Machbarkeit	78
9.4 Ausblick	81
10 Literaturverzeichnis.....	83
A Modal Split am Flughafen Köln/Bonn 2018	85
B Übersicht über derzeitige eVTOL-Projekte.....	87
B.1 Relevante eVTOL-Projekte	87
B.2 Verzeichnis der Website <i>Electric VTOL News™</i>	88
C Anforderungskatalog	97
C.1 Einleitung	97
C.1.1 Annahmen.....	97
C.1.2 Definitionen	98
C.1.3 Maßangaben	100
C.2 Vertiport Daten	101
C.2.1 Bezugspunkt des Vertiports.....	101
C.2.2 Höhen des Vertiports.....	101
C.2.3 Abmessungen und Informationen zum Vertiport.....	101
C.2.4 Festgelegte Strecken	102
C.2.5 Informationspflicht des Vertiportbetreibers.....	102
C.3 Physikalische Eigenschaften	103
C.3.1 FATO	103
C.3.2 TLOF.....	104

C.3.3 Sicherheitsbereich	104
C.3.4 Rollwege und Taxi-Routen	105
C.3.5 Schwebeflugwege und Taxi-Routen	105
C.3.6 Standplätze	106
C.3.7 Sicherheitsnetz.....	107
C.4 Hindernisbegrenzungsflächen	107
C.4.1 An- und Abflugfläche	107
C.4.2 Maße und Steigungen	108
C.4.3 Anforderungen an die Hindernisbegrenzungsflächen	109
C.5 Visuelle Hilfen	109
C.5.1 Indikatoren	109
C.5.2 Markierungen und Kennzeichnungen	110
C.5.2.1 Kennzeichnung des Vertiports.....	110
C.5.2.2 Höchstmassenmarkierung.....	110
C.5.2.3 FATO Markierung.....	111
C.5.2.4 Zielpunktmarkierung.....	111
C.5.2.5 TLOF Markierung	112
C.5.2.6 Aufsetzmarkierung	112
C.5.2.7 Roll- und Schwebeflugwegmarkierungen und Marker.....	113
C.5.2.8 Standplatzmarkierung	113
C.5.3 Befeuerung.....	114
C.6 Rettungsmaßnahmen am Vertiport.....	115
C.6.1 Notfallplan am Vertiport.....	115
C.6.2 Rettungsmaßnahmen und Feuerbekämpfung	116
D Vertiport Dimensionierung	119
D.1 Parkhaus <i>P2</i>	119
D.2 Parkhaus <i>P3</i>	121

II Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Luft- und Landseite am Flughafen Köln/Bonn.....	5
Abbildung 2: Passagieraufkommen am 30. stärksten Tag 2018 am FKB.....	9
Abbildung 3: Potentielle Passagiernachfrage an den Flugtaxi-Service im Jahr 2025.....	12
Abbildung 4: Bevölkerungsdichte in Deutschland und in Nordrhein-Westfalen.....	13
Abbildung 5: Kontrollzone und VFR-Pflichtmeldepunkten in der Umgebung des FKB.....	14
Abbildung 6: Projektbeispiele der unterschiedlichen eVTOL-Kategorien.....	17
Abbildung 7: CC/DD-Matrix für den Flughafen Köln/Bonn.....	20
Abbildung 8: Nutzlast-Reichweiten-Diagramm	21
Abbildung 9: Flugplätze Kategorien	24
Abbildung 10: Regelungen und Leitlinien zum Thema Hubschrauberflugplätze	25
Abbildung 11: Beispiel einer FATO	28
Abbildung 12: Beispiel eines Stellplatzes	29
Abbildung 13: Verschiedene Anordnungen von FATO und Stellplätzen	30
Abbildung 14: Betrachtung eines zeitlich ungestörten Prozesses.....	31
Abbildung 15: Flugbetrieb im Kreisverkehr.....	31
Abbildung 16: Balancing zur Ermittlung des Flächenbedarfs und der Kapazität	33
Abbildung 17: Potentielle Standorte für eine Flugtaxiinfrastruktur	40
Abbildung 18: Abschnitte von Parkhaus P2.....	46
Abbildung 19: Beispiel einer Vertiport-Konfiguration auf Parkhaus P2 Abschnitt 1	47
Abbildung 20: Abschnitte von Parkhaus P3.....	48
Abbildung 21: Mögliche Hindernisse für einen Vertiport am Flughafen Köln/Bonn	49
Abbildung 22: Hindernisanalyse für Parkhaus P2 Abschnitt 2	50
Abbildung 23: Hindernisanalyse für Parkhaus P3 Abschnitt 1	51
Abbildung 24: Favorisierte Vertiport-Konfiguration am Flughafen Köln/Bonn	52
Abbildung 25: AIP Sichtanflugkarte Köln/Bonn EDDK.....	53
Abbildung 26: Abfertigungskonzept für abfliegende Passagiere in einem Flugtaxibetrieb	62

Abbildung 27: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Simulation	68
Abbildung 28: Screenshot der Simulation bei 9 Uhr Simulationszeit.....	72
Abbildung 29: Iterationsmodell zur Gesamtkonzeption eines Vertiports am FKB	80
Abbildung 30: Kennzeichnung des Vertiports.....	110
Abbildung 31: Zielpunktmarkierung	112
Abbildung 32: P2 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1	119
Abbildung 33: P2 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2.....	119
Abbildung 34: P2 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1	120
Abbildung 35: P2 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2.....	120
Abbildung 36: P3 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1	121
Abbildung 37: P3 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2.....	122
Abbildung 38: P2 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1	122
Abbildung 39: P3 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2.....	123

III Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Machbarkeitsstudie Arbeitspakete	3
Tabelle 2: Verkehrsmittelspezifische Wechselraten zum Transportdienst mittels Flugtaxi	11
Tabelle 3: Unterschiedliche eVTOL-Kategorien	15
Tabelle 4: Auswahl-Kriterien und Relevanz für die Machbarkeit am FKB	18
Tabelle 5: Ausgewählte eVTOL-Projekte	18
Tabelle 6: Bewertung der potentiellen Standorte	41
Tabelle 7: Eingangsgrößen der Simulation	68
Tabelle 8: Ausgangsgrößen der Simulation	70
Tabelle 9: Verkehrsmittelwahl je Reiseanlass	85
Tabelle 10: Bemessungsparameter der An- und Abflugfläche	108
Tabelle 11: Hindernisanalyse für Parkhaus <i>P2</i> Abschnitt 2 (alle Angaben in Metern)	121
Tabelle 12: Hindernisanalyse für Parkhaus <i>P3</i> Abschnitt 1 (alle Angaben in Metern)	123

IV Abkürzungen

AIP	Aeronautical Information Publication
AOG	Aircraft On Ground
AP	Arbeitspaket
ASPSL	Arrays of Segmented Point Source Lighting
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
CTR	Controlled Traffic Region
DFS	Deutsche Flugsicherung
EASA	European Union Aviation Safety Agency
EU	Europäischen Union
EU-OPS	Air Operations Regulation der EU
eVTOL	Electric Vertical Takeoff and Landing Aircraft
FAA	Federal Aviation Administration
FATO	Final Approach and Takeoff
FKB	Flughafen Köln/Bonn (Infrastruktur)
FKB GmbH	Flughafen Köln/Bonn GmbH
ICAO	International Civil Aviation Organization
IFR	Instrument Flight Rules
ILS	Instrument Landing System
IMC	Instrument Meteorological Conditions
ISA	International Standard Atmosphere
LDA	Landing Distance Available
LFZ	Luftfahrzeug

Abkürzungen

LP	Luminescent Panel
LuftSiG	Luftsicherheitsgesetz
LuftVG	Luftverkehrsgesetz
LuftVO	Luftverkehrs-Ordnung
LuftVZO	Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung
MRO	Maintenance, Repair and Overhaul
MSL	Mean Sea Level
MTOM	Maximum Take-Off Mass
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
OW	Overall Width
PFD	Personal Flight Devices
RTODA	Rejected Take Off Distance Available
SERA	Standardized European Rules of the Air
TLOF	Touchdown and Lift-off Area
TODA	Take Off Distance Available
UCW	Undercarriage Width
VFR	Visual Flight Rules
VIA	Verkehrswissenschaftliches Institut der RWTH Aachen
VMC	Visual Meteorological Conditions
WGS-84	World Geodetic System-1984

1 Kurzfassung

Die weltweit zunehmende Bevölkerungsdichte in Ballungsräumen stellt Verkehrssysteme vor große Herausforderungen. Dies zeigt sich tagtäglich in Form von Stauereignissen, insbesondere zu Hauptverkehrszeiten. Flugtaxis könnten eine Lösung für dieses immer größer werdende Problem sein, indem sie bestehende Transportsysteme um die dritte Dimension erweitern. Der Flughafen Köln/Bonn bietet als Hauptverkehrsknotenpunkt mit Verbindungen zwischen Luft-, Bahn- und Straßenverkehr einen guten Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Infrastruktur, die auf den Betrieb von Flugtaxis ausgerichtet ist. In dieser Machbarkeitsstudie werden die unterschiedlichen Anforderungen und Herausforderungen analysiert, die für die Bereitstellung eines Flugtaxidienstes am Flughafen Köln/Bonn zu bewältigen sind. Untersucht werden vor allem die betriebliche Infrastruktur und deren mögliche Standorte, die Luftraumstruktur und der Flugbetrieb sowie die Passagierabfertigung.

Diese Studie wird auf der Grundlage der zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie verfügbaren Informationen durchgeführt. Zu diesem Zweck wird ein Basisszenario für den Flughafen Köln/Bonn definiert, das drei Hauptaspekte eines Flugtaxidienstes festlegt: die mögliche Passagiernachfrage, die möglichen Ziele, die von einem Flugtaxidienst vom Flughafen Köln/Bonn aus angeflogen werden könnten, und die in der Entwicklung befindlichen Fluggeräte, die für einen solchen Dienst als geeignet angesehen wurden.

Obwohl noch viele Schritte unternommen und viele Probleme überwunden werden müssen, um einen Flugtaxidienst am Flughafen Köln/Bonn anzubieten, wird bei dieser Machbarkeitsstudie kein Aspekt festgestellt, der die Einrichtung eines solchen Dienstes am Flughafen Köln/Bonn als unmöglich erscheinen ließe. Die Analyse der verschiedenen möglichen Standorte für einen Flugtaxi-Dienst zeigt, dass einige Standorte vorteilhafter sind als andere, wie z.B. die Parkhäuser P2 und P3. Da zu Beginn eines Flugtaxidienstes nur die minimale Infrastruktur, bestehend aus einem An- und Abflugbereich und mehreren Stellplätzen, zur Verfügung stünde, wird erwartet, dass die Passagiernachfrage die Kapazität, die durch eine solche Infrastruktur angeboten werden könnte, deutlich übersteigen würde. Eines der Hauptprobleme, das in dieser Studie festgestellt wurde, ist das Fehlen bestehender Vorschriften für den Betrieb eines Flugtaxidienstes. Eine hinreichende Planungssicherheit kann hier nur erreicht werden, wenn u. a. die entsprechenden Gesetzgebungen und Vorschriften zu Musterzulassung für das Fluggerät, Betriebsgenehmigung für das Luftfahrtunternehmen und Genehmigung zu Anlage und Betrieb eines Vertiports vorliegen. Die neuen Regelungen müssen sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene definiert werden.

Diese Studie bietet einen Ausgangspunkt für die Entwicklung einer Infrastruktur, die auf den Betrieb von Flugtaxis am Flughafen Köln/Bonn ausgerichtet ist. Von diesem Punkt aus gibt es noch einige wichtige Themen, die im Detail analysiert werden müssen, wie z. B. die finanziellen Aspekte eines Flugtaxidienstes, seine Integration in das aktuelle Betriebsszenario und der Genehmigungsweg für einen solchen Transportdienst und die entsprechende Infrastruktur. Außerdem verbessert sich der Stand der Technik im Bereich der Urban Air Mobility kontinuierlich, wobei neue Technologien wie

autonome Flugzeuge jeden Tag der Realität näherkommen. Daher ist eine iterative Anpassung der Annahmen, Anforderungen und Ergebnisse dieser Studie erforderlich. Trotzdem wird das Ziel, einen Flugtaxi-Service am Flughafen Köln/Bonn anzubieten, aus verkehrstechnischer Sicht als sinnvoll angesehen, und diese Studie könnte einen wesentlichen Beitrag dazu liefern, um die Urban Air Mobility in unser tägliches Leben zu bringen.

2 Einleitung

Die Flughafen Köln/Bonn GmbH (FKB GmbH) und das Verkehrswissenschaftliche Institut der RWTH Aachen (VIA) untersuchen in diesem Projekt ein angenommenes Szenario für einen Flugtaxidienst am Flughafen Köln/Bonn (FKB), um eine grundsätzliche technische Machbarkeit bzgl. infrastruktureller Anforderungen am Boden, flugbetriebliche Möglichkeiten im Luftraum und denkbaren Passagierzahlen aus der Sicht eines Flughafenbetreibers in einem ersten Schritt bewerten zu können. Dazu soll basierend auf diesem Szenario, beispielhaft ein sogenannter Vertiport am FKB ausgelegt werden.

Diese technische Machbarkeitsstudie wurde im Rahmen eines Ideen- und Förderaufrufs zum Thema unbemannte Luftfahrtanwendungen und individuelle Luftmobilitätslösungen vom 27.02.2019 erstellt und vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) über die Forschungsinitiative mFUND (Mobilitätsfonds) gefördert (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur 2019). Das Projekt wird von den Kooperationspartnern FKB GmbH und VIA gemeinsam bearbeitet und ist thematisch in fünf Arbeitspakete (AP) unterteilt, deren Bearbeitung schwerpunktmäßig und federführend wie in Tabelle 1 aufgeteilt wurde.

Tabelle 1: Machbarkeitsstudie Arbeitspakete

Nummer	Beschreibung	Federführend
1	Start- und Landeplätze	VIA
2	Stellplätze und Wartungshangars	FKB GmbH
3	An- und Abflugrouten	FKB GmbH
4	Regularien und Prozeduren	FKB GmbH
5	Flugzeug- und Passagierabfertigung	VIA

2.1 Motivation

Weltweit befindet sich eine erhebliche Anzahl von Flugtaxi-Projekten in der Entwicklung. Die einzelnen Unternehmen verfolgen dabei unterschiedliche Konzepte und Strategien. Allgemein wird die Integration neuer Technologien in bestehende Infrastrukturen und öffentliche Verkehrskonzepte in Gesellschaft und Politik zunehmend diskutiert, um einen drohenden Verkehrskollaps in Innenstädten und Ballungsräumen zu vermeiden sowie den steigenden Anforderungen im öffentlichen Nah- und Fernverkehr begegnen zu können.

Im Großraum Köln/Bonn sowie dem gesamten Einzugsgebiet des Flughafens zeigen sich tagtäglich Überlastungen der bodengebundenen Verkehrsinfrastruktur, insbesondere im Straßenverkehrsnetz

in und um Köln gibt es oftmals *kein Durchkommen* und/oder kilometerlange Staus auf den Autobahnen.

Der nicht nur in der Klima-Debatte diskutierte dringlich erforderliche Ausbau des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) und schienengebundenen Fernverkehrs erfordert auch Lösungen für den steigenden Bedarf an individuellen und flexiblen intermodalen Verkehrsanbindungsmöglichkeiten, insbesondere in den Einzugsgebieten von internationalen Verkehrsflughäfen. Beispielsweise gewinnen Alternativen zu innerdeutschen Linienflügen oder Verkehrsanbindungen zwischen benachbarten Flughäfen in der öffentlichen Diskussion immer mehr an Bedeutung.

Grundsätzlich liegen in einer optimierten Vernetzung einzelner Verkehrssysteme erhebliche Potentiale für individuelle, schnelle und damit kostengünstige Transportmöglichkeiten im öffentlichen Bereich. Die FKB GmbH sieht sich als Betreiberin eines internationalen Verkehrsknotenpunktes in der Verantwortung, möglichst frühzeitig Klarheit über die zu erwartenden Herausforderungen und Technologien der Zukunft zu gewinnen, dabei Möglichkeiten und Anforderungen sowie Schwierigkeiten und Chancen einer Integration eines Flugtaxi-Services in eine bestehende Verkehrsinfrastruktur aufzuzeigen, um die Erkenntnisse dann in weiterführende Untersuchungen und Planungen einfließen lassen zu können.

2.2 Ausgangslage

Um die Vernetzung der am FKB angebotenen Verkehrssysteme zu optimieren und die Vorteile einer individuellen Luftmobilität vollumfänglich zu nutzen, soll im Rahmen dieser Studie ein Flugtaxi-Service in die landseitige Infrastruktur, d. h. außerhalb des Luftsicherheitsbereichs integriert werden. Somit wäre es für die Nutzer der Flugtaxis nicht erforderlich die luftseitig vorgeschriebene Luftsicherheitskontrolle zu durchlaufen, sondern lediglich eine vereinfachte Zugangskontrolle direkt am Flugtaxi zu passieren. Diese Annahme ermöglicht auch eine Übertragung der Ergebnisse auf flughafenferne Standorte und unterstreicht den Sachverhalt, dass die Errichtung und der Betrieb eines Vertiports getrennt von dem Betrieb des eigentlichen Verkehrsflughafens zu betrachten ist. Der Vertiport soll lediglich an den Verkehrsknotenpunkt angebunden werden und das Nutzerpotential des Verkehrsflughafens erschließen.

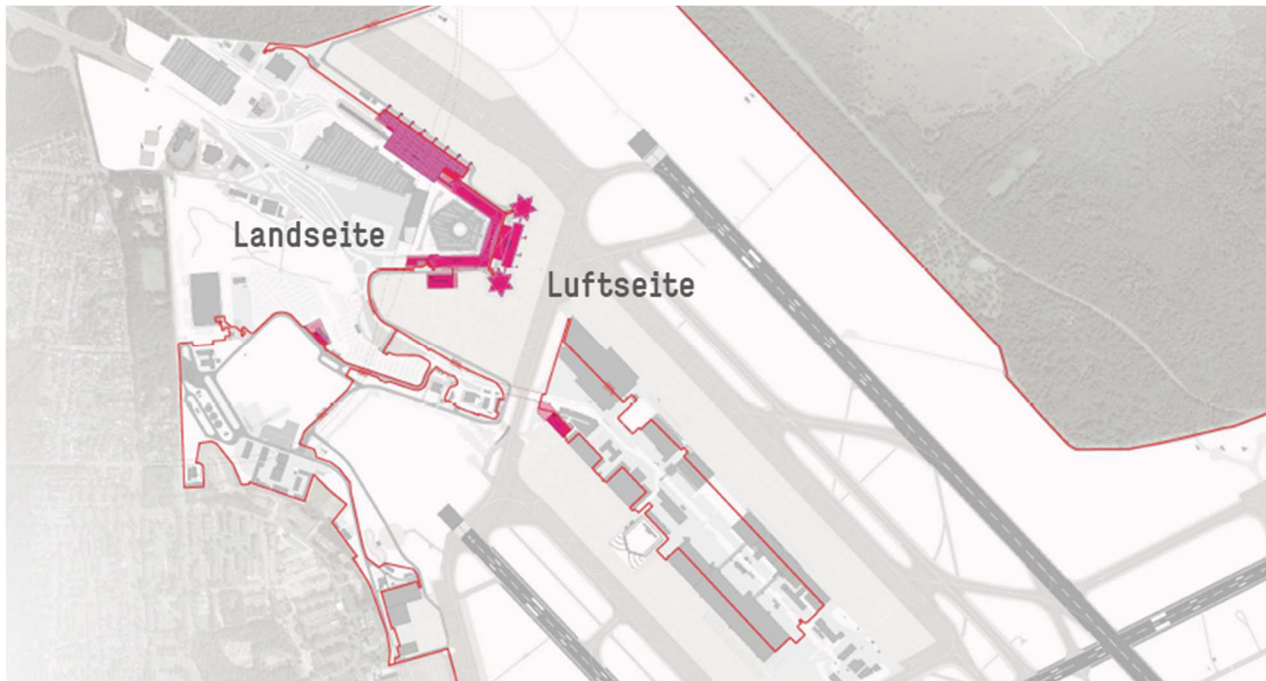


Abbildung 1: Luft- und Landseite am Flughafen Köln/Bonn

Die technischen Fortschritte bei der Entwicklung von elektrisch angetriebenen, senkrecht startenden und landenden Luftfahrzeugen (electric Vertical Takeoff and Landing Aircraft: eVTOL) und die damit einhergehenden bauartbedingten Eigenschaften, eröffnen vielfältige und erweiterte Möglichkeiten einen operativen Flugbetrieb durchzuführen. Auch wenn die Vorschriftenlage noch nicht vollständig geklärt ist, erscheinen Szenarien für einen kommerziellen eVTOL-Flugbetrieb möglich, welche für einen herkömmlichen Helikopter-Service nicht oder nur bedingt darstellbar sind.

In den Veröffentlichungen vieler eVTOL-Projekte sowie in diversen Medien wird der Betrieb von Flugtaxi visionär und in direktem Zusammenhang mit autonomen Flugbetrieb dargestellt. Auch Kalkulationen von erzielbaren Ticketpreisen gehen in der Regel von einem Geschäftsmodell mit automatisch gesteuerten Fluggeräten ohne Pilot aus. Es ist zwar davon auszugehen, dass sich diese Technologie zügig weiterentwickelt und in der Luftfahrt auch schneller zum Einsatz kommen wird als bei bodengebundenen Fahrzeugen, allerdings wird die Zulassung derartiger Systeme vermutlich noch einige Zeit in Anspruch nehmen und kaum möglich sein, ohne den eigentlichen Flugbetrieb mit manueller Steuerung zu etablieren. Daher wird in der vorliegenden Studie zunächst nur von einem Flugbetrieb mit einem lizenzierten Berufspiloten an Bord des Luftfahrzeugs (LFZ) ausgegangen.

Weiterhin wird in dieser Studie davon ausgegangen, dass dieser manuelle Flugbetrieb zunächst nur nach Sichtflugregeln (Visual Flight Rules: VFR) stattfindet. Instrumentenflugverfahren (Instrument Flight Rules: IFR) werden aktuell nicht betrachtet. Hier wird sich u. a. im Rahmen der Definition von Zulassungsverfahren für die eVTOL-Fluggeräte, den gewerblichen Flugtaxibetrieb, die Flugsicherungsverfahren und den autonomen Flugbetrieb zeigen, ob und wie Instrumentenflugverfahren etabliert werden können.

Allgemein zeigt sich in der Diskussion um die Elektromobilität ein deutlicher Trend zu Konzepten mit Hybrid-Antrieben. Diskussionsthemen wie die Verfügbarkeit von Rohstoffen für Batterien, die Akzeptanz erzielbarer Ladezeiten und Reichweiten, der erforderliche Ausbau eines Netzes von Ladestationen sowie die Potentiale durch eine synthetische Herstellung von Kraftstoffen lassen vermuten, dass auch eVTOL-Fluggeräte mit Hybrid-Antrieb zukünftig eine Marktreife und die entsprechende Flugzulassung erlangen werden. Eine solche Entwicklung wird die Notwendigkeit der Versorgung mit entsprechenden Kraftstoffen mit sich bringen und die entsprechenden Anforderungen an den Betreiber eines Vertiports neu definieren bzw. erweitern. Da sich diese Trends aktuell noch in einem sehr frühen Entwicklungsstadium befinden, wird in der vorliegenden Studie zunächst nur eine elektrische Stromversorgung zum Laden von Batterien betrachtet, eine Versorgung mit gasförmigen oder flüssigen Kraftstoffen wird nicht betrachtet.

Auch die Frage der zu erwartenden Kosten für die Passagiere (Ticketpreise, Gebühren, etc.) wird allgemein recht kontrovers diskutiert und kann zum augenblicklichen Zeitpunkt aufgrund von zu vielen ungeklärten Faktoren nicht hinreichend beantwortet werden. Eine Akzeptanz der Preise bei den potentiellen Passagieren wird in dieser technischen Machbarkeitsstudie vorausgesetzt und nicht weiter betrachtet.

Auf dem Flughafengelände sind landseitig einige potentiell geeignete Flächen vorhanden, die für eine nähere Untersuchung in Betracht kommen. Grundsätzlich ist diese Studie jedoch aufgrund von noch nicht abschließend definierten Anforderungen ergebnisoffen.

Bzgl. der potentiellen Standorte für einen Vertiport am FKB, geht diese Untersuchung von dem heute bekannten Ist-Zustand am Flughafen aus, zieht aber Überlegungen in Bezug auf denkbare, jedoch noch nicht konkretisierte Flughafenentwicklungen mit in Betracht.

Aufgrund der vielfältigen Prämissen, Variablen und Parameter in diesem Vorhaben, wird zunächst ein Basisszenario für den FKB festgelegt, um die verschiedenen Fragestellungen basierend darauf beantworten zu können. Zukünftig könnten ggf. in weiteren Planungsschritten iterativ Anpassungen innerhalb dieses Basisszenarios vorgenommen werden, um weitere Entwicklungen zu berücksichtigen und neue Erkenntnisse zu sammeln.

3 Entwicklung des Basisszenarios

Grundsätzliches Ziel dieser Betrachtung ist es, für die eigentlichen Kunden der Flughafengesellschaft, d. h. für die Passagiere der ansässigen Fluggesellschaften ein attraktives alternatives Transportangebot zum bzw. vom Terminal zu etablieren. Das Basisszenario soll initial beschreiben, wie viele Passagiere ein Flugtaxi bestimmter Größe in dem bekannten Einzugsgebiet des Flughafens nutzen würden. Dazu werden potentielle Passagiernachfrage, potentielle Flugziele und relevante Fluggeräte näher betrachtet.

3.1 Ermittlung der potentiellen Passagiernachfrage

Zur Definition der potentiellen Passagiernachfrage an den künftigen Flugtaxibetrieb wird ein zweistufiger Ansatz gewählt. Zunächst erfolgt eine literaturgestützte Recherche mit dem Ziel, Studien mit einer vergleichbaren Forschungsfrage zu identifizieren. Ergänzend zur Literaturrecherche werden teilweise mit den an den herausgegebenen Studien beteiligten Experten persönliche Interviews durchgeführt. Bei der Recherche steht insbesondere die Nutzungsrate des innovativen Verkehrsmittels Flugtaxi im Vordergrund. Im zweiten Schritt der Ermittlung der Passagiernachfrage findet ein interdisziplinärer Workshop mit Fachexperten aus verschiedenen Abteilungen der FKB GmbH sowie des VIA statt, in dem für die Nutzung des Flugtaxis relevante Einflussparameter und entsprechend anzunehmende Werte zur Diskussion stehen.

Die Literaturrecherche zeigt, dass der Transportdienst durch Flugtaxis vor allem in Konkurrenz zu den bestehenden Verkehrsträgern Straße und Schiene treten wird. Nutzer eines privaten Autos stehen als zukünftige Flugtaxipassagiere im Mittelpunkt (Porsche Consulting 2018). Daneben wird auch bei Nutzern der Verkehrsmittel Taxi, sowie Bus und Bahn als öffentlicher Personennahverkehr eine hohe Nutzungsrate des Flugtaxidienstes unterstellt. Von nachrangiger Bedeutung für die Nachfrage eines bedarfsgesteuerten Luftverkehrsdienstes werden Nutzer herkömmlicher Verkehrsflugzeuge sowie Radfahrer und Fußgänger eingestuft. Weiterhin wird für das Jahr 2050 eine generelle Wechselrate der Verkehrsteilnehmer von 5% prognostiziert (Roland Berger GmbH 2018). Dieser Wert beruht auf der Auswertung mehrerer Experteninterviews im Rahmen der Studie.

Eine Studie von *Uber Elevate* diskutiert Konzepte für den Betrieb von Flugtaxis und berücksichtigt dabei ökonomische Faktoren, potentielle Märkte und den Stand der technologischen Entwicklung (Uber 2016). Die Abschätzung einer potentiellen Passagiernachfrage wird jedoch nicht vorgenommen. Auch aktuellere Studien thematisieren das Marktpotential, ohne ein konkretes Passagieraufkommen zu benennen (Horváth & Partners 2019). Allgemein wird dem Markt des Flughafentransfers jedoch eine große Bedeutung beigemessen (Airbus 2018).

Konkludierend macht die Literaturrecherche deutlich, dass die Passagiernachfrage an den Betrieb von Flugtaxidiensten bislang in Studien kaum quantitativ untersucht worden ist. Eine mögliche Erklärung dafür ist die Abhängigkeit der Passagiernachfrage von zahlreichen Rahmenfaktoren (Kosten, Verfügbarkeit, Transportbedingungen, etc.), sodass die Prognose einer Wechselrate von herkömmlichen Verkehrsmitteln zum Flugtaxi mit verschiedenen Herausforderungen behaftet ist.

Der interdisziplinäre Workshop mit verschiedenen Fachexperten aus dem Bereich Flughafenwesen dient dem Ziel, auf Basis der literaturgestützten Recherche die potentielle Passagiernachfrage an einen Flugtaxidienst am FKB bei den gegebenen lokalen Rahmenbedingungen abzuschätzen. Diese Information stellt eine grundlegende Teilkomponente des Basisszenarios dar, für das im weiteren Verlauf des Projektes Anforderungen an einen Flugtaxibetrieb erarbeitet werden sollen. Die Ergebnisse des Workshops werden im Folgenden vorgestellt.

Die Passagiernachfrage des Flugtaxidienstes hängt im Wesentlichen von dem Passagieraufkommen des gewerblichen planmäßigen Luftverkehrs am FKB ab. Das zusätzliche Passagieraufkommen infolge Zusatz- und Ausweichflügen wird nicht berücksichtigt, denn diese führen lediglich zu einer marginalen Steigerung des Passagieraufkommens und sind nicht planbar. Eine zusätzliche Nachfrage des Flugtaxibetriebes infolge von Personen, die nicht Passagiere des Flughafens sind, sondern sonstige Ziele in der Umgebung anstreben, wird zunächst nicht angenommen, da sich dieser Markt erst noch entwickeln wird und zum Zeitpunkt des Workshops kaum zu prognostizieren ist. Weiterhin wird das ausschlaggebende Passagieraufkommen am FKB auf den 30. stärksten Tag im Jahr 2018 konkretisiert, da zur Dimensionierung von infrastrukturellen Anlagen gemäß der Vorgaben der International Civil Aviation Organization (ICAO) der 30. stärkste Tag eines Jahres anzusetzen ist (International Civil Aviation Organization 1987).

Als zeitlicher Rahmen des Flugtaxibetriebs wird der Zeitraum von 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr festgelegt. Dies entspricht dem üblichen *Tagesbetrieb* am FKB im Passagierverkehr. Eine Berücksichtigung von Betriebszeiten darüber hinaus wird aufgrund der Landeverbote an anderen Flughäfen als nicht sinnvoll eingestuft.

Es wird unterstellt, dass die Nutzungsrate des Flugtaxis durch Passagiere am FKB davon abhängt, welche konkurrierenden An-/Abreiseverkehrsmittel favorisiert werden. Da die FKB GmbH lediglich Daten über die Wahl des Anreiseverkehrsmittels erhebt, wird angenommen, dass die Wahl des Abreiseverkehrsmittels dem entspricht. Ebenso finden Schwankungen des Modal Split im Tagesverlauf keine Berücksichtigung, da über die tageszeitspezifische Verkehrsmittelwahl keine quantifizierten Erhebungen vorliegen. Es wird der über das Jahr 2018 gemittelte Modal Split als Grundlage festgelegt (siehe Anhang A). Das Passagiermerkmal *Reisezweck* (geschäftlich/privat) wird nicht explizit berücksichtigt, da diese Information in dem gesamtheitlichen Modal Split aller Passagiere bereits enthalten ist.

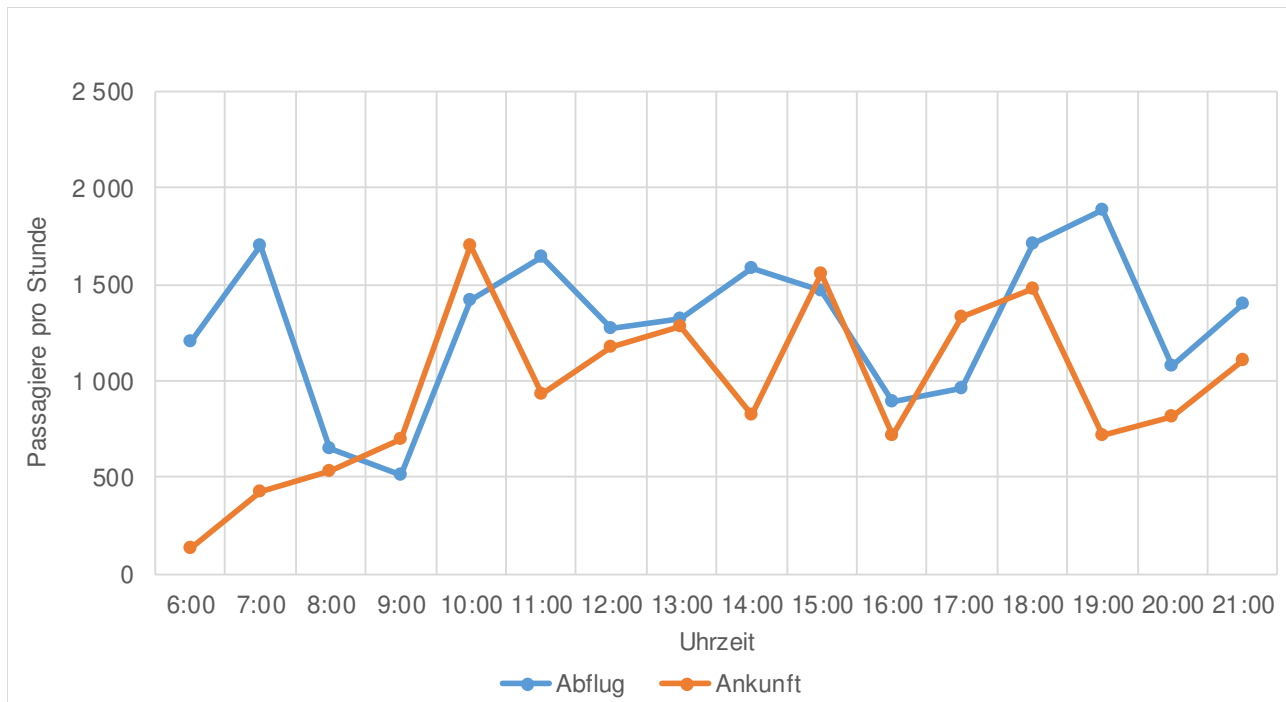


Abbildung 2: Passagieraufkommen am 30. stärksten Tag 2018 am FKB

Da die relevanten Fluggeräte aktuell noch nicht zur Verfügung stehen (s. Kapitel 3.3), wird für das Basisszenario dieser Studie das Jahr 2025 als Prognosehorizont für das Passagieraufkommen definiert. Die zuvor durchgeführte Literaturrecherche hat ergeben, dass dies von verschiedenen Experten und Institutionen im Bereich der Urban Air Mobility als ein wahrscheinlicher Zeitpunkt für eine erste allgemeine Markteinführung eingestuft wird.

Als verkehrsmittelspezifische Wechselraten zum Flugtaxi werden für das Jahr 2025 die Prozentsätze gemäß Tabelle 2 angenommen. Den in der Tabelle aufgeführten Verkehrsmitteln und Wechselraten liegen folgende Annahmen zugrunde:

- Für das Verkehrsmittel Taxi wird mit 25% der höchste Prozentsatz angenommen, da die Rahmenbedingungen des Transportmittels einen hohen Deckungsgrad mit denen des Flugtaxis aufweisen (Kosten, Komfort, Flexibilität).
- Transfer- und Shuttle-Transportdiensten, welche unter anderem Hotel-Shuttles, private Firmen-Shuttles sowie Shuttles zu externen Parkplatzbetreibern einschließen, wird eine geringe Wechselrate unterstellt, da das ursprüngliche Verkehrsmittel i.d.R. kostenfrei zur Verfügung steht und infolgedessen eine geringe Zahlungsbereitschaft der Kunden und somit eine geringe Nutzungsrate des Flugtaxis zu erwarten ist.
- Der Mietwagen wird gemäß Erhebungen der FKB GmbH stark von geschäftlich Reisenden genutzt (vgl. Anhang A). Da diese eine hohe Zeitsensitivität und Kostenflexibilität aufweisen, ist ein anteiliger Wechsel zum Flugtaxi wahrscheinlich.

- Der Verkehrsträger Schiene weist aufgrund der unterschiedlichen Zugformen des Nah- und Fernverkehrs eine hohe Variabilität bezüglich der gefahrenen Distanz vom oder zum Flughafen auf. Da sich mehrere Merkmale der Verkehrsmittel (Kosten, Komfort, Flexibilität) unterscheiden, wird ein geringer Prozentsatz wechselnder Nutzer angenommen.
- Der Transportdienst mittels Flugtaxi stellt für Passagiere, welche die An- bzw. Abreise vom FKB durch einen herkömmlichen, kommerziellen Flug umsetzen, keine Alternative da. Es muss davon ausgegangen werden, dass das Flugtaxi die erforderliche An- bzw. Abreisedistanz nicht zurücklegen kann. Darüber hinaus erhöht das erforderliche Betreten bzw. Verlassen der Flughafenluftseite den Reisewiderstand des Passagiers (Schneider 2016, S. 47).
- Die An- bzw. Abreise mittels eigenem Auto, welches vom Reisenden selbstständig geführt und am Flughafen geparkt wird, birgt Potential für die künftige Nutzung eines Flugtaxis, da das Flugtaxi einen vergleichbar hohen Flexibilitätsgrad aufweist und aufgrund der Parkplatzkosten eine Zahlungsbereitschaft der Verkehrsmittelnutzer vorhanden ist (Flughafen Köln/Bonn GmbH 2019). Diese Annahme wird durch die Tatsache gestützt, dass viele geschäftlich Reisende dieses Verkehrsmittel nutzen (vgl. Anhang A).
- Passagiere des Flughafens, welche im Auto durch Bekannte zum Flughafen gebracht werden, spielen für die Nutzung von Flugtaxis eine untergeordnete Rolle, da diesen Passagieren eine geringe Zahlungsbereitschaft unterstellt wird.
- Nutzer des Verkehrsmittels Bus stellen kein relevantes Nachfragepotential dar, da eine geringe Zahlungsbereitschaft anzunehmen ist und die Busrouten eine zu geringe Distanz für den Betrieb eines Flugtaxis aufweisen.
- Carsharing-Angebote haben unter den möglichen An- und Abreiseverkehrsmitteln am FKB mit weniger als 1% Nutzeranteil die geringste Bedeutung. Das somit allgemein geringe Nachfragepotential aus dieser Personengruppe wird mit einer mittleren Wechselrate angenommen.

Die gewählten Wechselraten werden mit den Nutzeranteilen des jeweiligen Verkehrsmittels multipliziert. Somit ergibt sich insgesamt eine potentielle Nutzungsrate von 4,85% für einen Flugtaxidienst an der FKB (vgl. Tabelle 2). Dieser Wert weicht nur geringfügig von der in (Roland Berger GmbH 2018) prognostizierten Wechselrate von 5% ab. Dabei gilt zu beachten, dass die Prognosezeitpunkte zwar um 25 Jahre auseinanderliegen, jedoch aufgrund des Standortes am Flughafen von einer erhöhten Flugreiseaffinität der potentiellen Passagiere ausgegangen werden kann.

Tabelle 2: Verkehrsmittelspezifische Wechselraten zum Transportdienst mittels Flugtaxi

Verkehrsmittel	Wechselrate	Nutzeranteil	Potential Flugtaxi
Taxi	25,00%	10,50%	2,62%
Transfer/Shuttle	1,00%	1,20%	0,01%
Mietwagen	10,00%	2,50%	0,25%
Bahn	1,00%	32,70%	0,33%
Flugzeug	0,00%	6,50%	0,00%
PKW, geparkt	10,00%	13,30%	1,33%
PKW, gebracht	1,00%	28,10%	0,28%
Bus	0,25%	4,70%	0,01%
Carsharing	5,00%	0,60%	0,03%
Gesamt		100,00%	4,85%

Bezüglich der Größe und des Gewichts von Gepäckstücken werden Einschränkungen für die Passagiere des Flugtaxis nicht explizit definiert. Diese Vorgabe erfolgt durch den künftigen Betreiber des Flugtaxidienstes und hängt von der Nutzlast des Fluggerätes ab. Es wird angenommen, dass in den gewählten Wechselraten je Verkehrsmittel nur die Passagiere berücksichtigt sind, deren Gepäckumfang den Betriebsbedingungen des Flugtaxidienstes entspricht.

Aufgrund des kontinuierlichen Wachstumstrends, welchen der deutsche Luftverkehr in den letzten Jahrzehnten erfahren hat, ist auch für den Zeitraum zwischen Erhebung des Passagieraufkommens (Jahr 2018) und Prognosehorizont (Jahr 2025) von einer Steigerung des Verkehrsaufkommens am FKB auszugehen. Als Ergebnis einer Expertenbefragung wird von einem jährlichen Passagierwachstum von etwa 3% ausgegangen.

Gemäß der beschriebenen Vorgehensweise ergibt sich die für den Bemessungsfall relevante Passagiernachfrage des Flugtaxidienstes aus dem bestehenden Passagieraufkommen am FKB im Jahr 2018, der Passagierprognose bis zum Jahr 2025 sowie der ermittelten Wechselrate von anderen Verkehrsmitteln. Das Ergebnis ist in Abbildung 3 dargestellt.

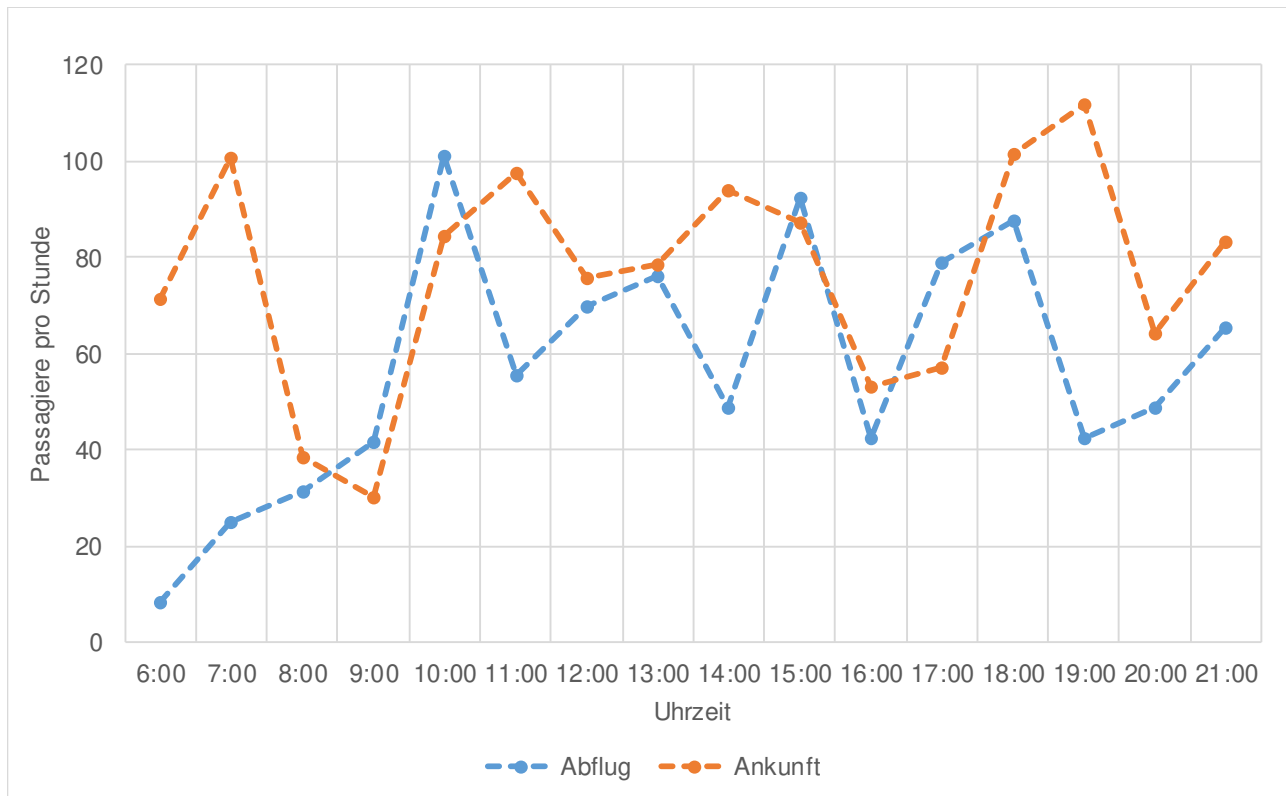
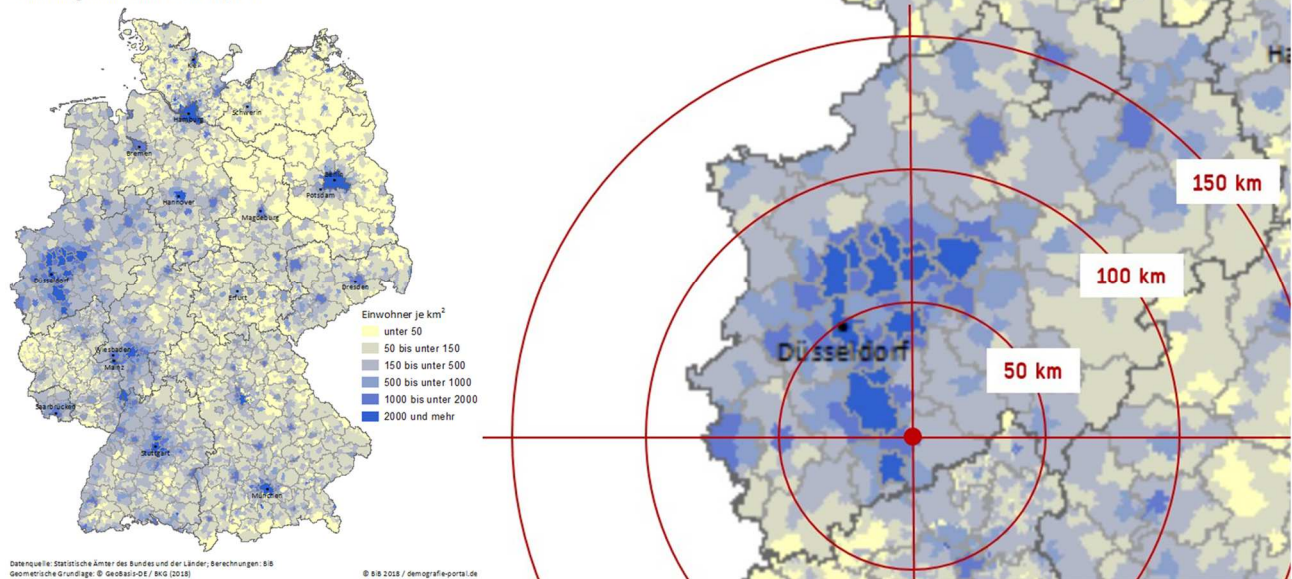


Abbildung 3: Potentielle Passagiernachfrage an den Flugtaxi-Service im Jahr 2025

3.2 Ermittlung der potentiellen Flugziele

Das Einzugsgebiet des Flughafens erstreckt sich im Wesentlichen in einem Radius bis etwa 150 km um den Standort. Die von der Marktforschungsabteilung der FKB GmbH mittels Fluggastbefragung erhobenen Daten zeigen, dass die Verteilung der Reiseziele von privat oder geschäftlich Reisenden im Umland sehr gut mit der Verteilung der Bevölkerungsdichte korreliert. Daher kann in erster Näherung angenommen werden, dass auch die potentiellen Flugziele eines Flugtaxidienstes ebenfalls in Häufigkeit und Verteilung der Bevölkerungsdichte im Einzugsgebiet entsprechen (Abbildung 4).

Bevölkerungsdichte nach Gemeinden, 2017



Quelle: BiB 2018 / demografie-portal.de

Abbildung 4: Bevölkerungsdichte in Deutschland und in Nordrhein-Westfalen

Wird eine hohe Bevölkerungsdichte als Indikator für die Überlastungen der bodengebundenen Verkehrsinfrastruktur herangezogen, zeigt sich insbesondere in nordwestlicher Richtung ein erhöhter Bedarf an Entlastung des Verkehrsaufkommens bzw. an einem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur.

Gleichwohl kann in Gegenden mit niedrigerer Bevölkerungsdichte ein erhöhter Bedarf an schnellen und flexiblen Flugtaxidiensten angenommen werden, falls die örtliche bodengebundene Verkehrsinfrastruktur wenig Alternativen bietet.

Da noch nicht prognostiziert werden kann, welche Himmelsrichtungen von den Kunden des Flugtaxidienstes verstärkt nachgefragt werden, wird im Basisszenario davon ausgegangen, dass es keine Haupt-An-/Abflugrichtung geben wird. Auch werden keine speziellen Korridore vorgesehen, in denen sich die Flugtaxis ausschließlich bewegen dürften. Ziel ist es, einen möglichst flexiblen Flugtaxi-Service für die Passagiere zu ermöglichen und gleichzeitig der Flugsicherung Freiräume zur Staffe- lung der Flugbewegungen zu geben. Hier bieten sich die bereits etablierten VFR An- und Abflugver- fahren mit den veröffentlichten VFR-Pflichtmeldepunkten an (Abbildung 5).

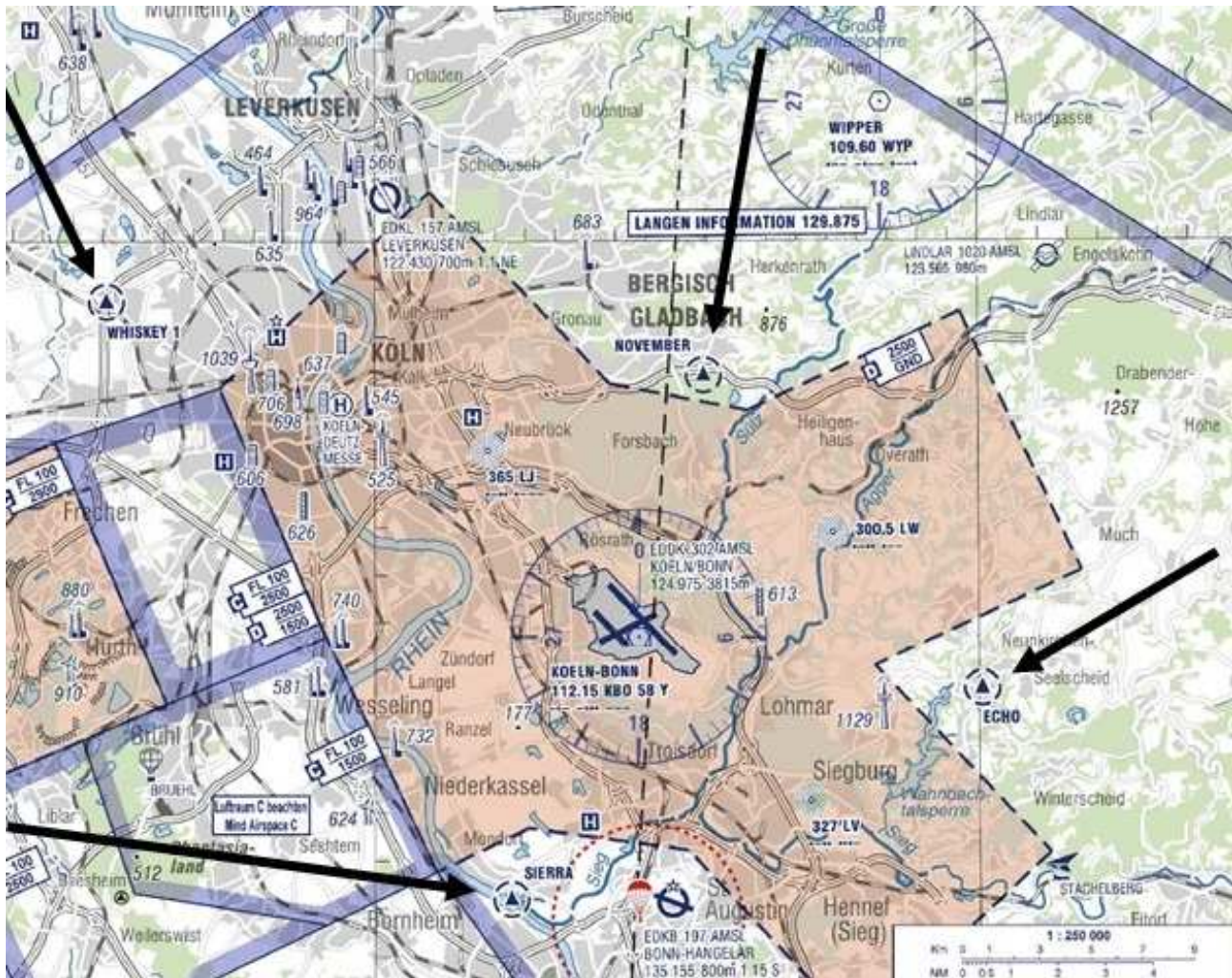


Abbildung 5: Kontrollzone und VFR-Pflichtmeldepunkten in der Umgebung des FKB

Es wird davon ausgegangen, dass sich bei Einführung der eVTOL-Technologie nach und nach ein Netz von dafür zugelassenen Start- und Landeplätzen entwickeln wird. Vermutlich werden anfänglich bereits existierende Flughäfen, kleinere Flugplätze und Heliports genutzt werden können, um im weiteren Verlauf der Entwicklung ein dichter werdendes Netz an zusätzlichen speziellen Vertiports zu etablieren.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass sich im Zuge der technischen Weiterentwicklung auch die Reichweite der Fluggeräte erhöhen wird. Hier ist zu erwarten, dass der Einsatz und die weitere Entwicklung der Hybrid-Technologie neue Maßstäbe setzen wird, was aber auch mit der Verfügbarkeit entsprechender Kraftstoffe an den Start- und Landeplätzen einhergehen muss.

Durch die genannten Aspekte kann zum augenblicklichen Zeitpunkt weder eine dedizierte Angabe zu den potentiellen Flugzielen gemacht werden, noch sollte verfrüht eine Einschränkung diesbezüglich vorgenommen werden. In der Betrachtung der relevanten Fluggeräte (Kapitel 3.3) findet daher

die von den Herstellern genannte Reichweite eine entsprechende Verwendung, um die Erreichbarkeit von potentiellen Flugzielen innerhalb des FKB-Einzugsgebiets darstellen zu können.

3.3 Merkmale relevanter Fluggeräte

3.3.1 Stand der Technik

In den letzten Jahren hat eine hochgradig innovative Entwicklung im Bereich der eVTOL-Technologie stattgefunden. Es hat sich u. a. aufgrund von der rapiden Verbreitung von ferngesteuerten unbemannten Drohnen, den beachtlichen Neuerungen in der bodengebundenen E-Mobilität und den erwarteten Möglichkeiten einer autonomen Verkehrsführung durch den 5G-Standard eine bemerkenswerte Szene um das Thema Flugtaxi etabliert. Unterschiedlichste Konzepte zeigen innovative Technologien, unkonventionelle Fluggeräte und neuartige Geschäftsmodelle. Weltweit gibt es eine Vielzahl an Aktivitäten, die Bandbreite reicht dabei von Veröffentlichungen einzelner Ideen, wissenschaftlichen Studien, Gesamtkonzeptionen neu gegründeter Start-Up-Unternehmen bis zu langfristig angelegten Projekten etablierter Großkonzerne. Aus unternehmenspolitischen Gründen werden dabei natürlich nicht alle Einzelheiten veröffentlicht, sodass der aktuelle Stand der Technik bei der anhaltend hohen Entwicklungsgeschwindigkeit kaum vollständig erfasst und dargestellt werden kann. Einen guten Überblick geben aber z. B. die auf den Internetseiten *TransportUP* (<https://transportup.com>) und *Electric VTOL News*TM (<https://evtol.news>) aufgeführten Projekte. Im Anhang B ist ein Auszug der auf *Electric VTOL News*TM gelisteten Projekte dargestellt. Es handelt sich bei diesem Datenbestand um mehr als 200 verschiedene Projekttitel mit äußerst unterschiedlichen Konstruktionsprinzipien, Nutzungskonzepten und Entwicklungsständen. Konzeptstudien, Entwicklungsträger, Prototypen sowie LFZ in der Flugerprobung oder Zulassung, in verschiedenen Kategorien bzgl. Bauform, Antriebsart und Größe. Dabei werden die Projekte in verschiedene Kategorien unterteilt, wie in Tabelle 3 und Abbildung 6 dargestellt.

Tabelle 3: Unterschiedliche eVTOL-Kategorien

Kategorie	Beispiele
Vectored Thrust	Lilium Jet, Bell Nexus 6HX
Lift and Cruise	AutoFlightX V600, Wisk Cora
Multicopter	Volocopter 2X, CityAirbus
Hover Bikes/Personal Flight Devices (PFD)	HoverSurf S3, Opener BlackFly
Electric Rotorcraft	Robinson R44 Tier 1, Aquinea ENAC Volta



Lilium Jet | Quelle: www.lilium.com



AutoFlightX V600 | Quelle: https://autoflightx.com



Volocopter 2X | Quelle: www.volocopter.com



HoverSurf S3 | Quelle: www.hoversurf.com



Bell Nexus 6HX | Quelle: www.bellflight.com



Wisk Cora | Quelle: https://wisk.aero



CityAirbus | Quelle: www.airbus.com



Opener BlackFly | Quelle: www.opener.aero



R44 Tier 1 | Quelle: www.tier1engineering.com



Aquinea ENAC Volta | Quelle: <https://aquinea.fr>

Abbildung 6: Projektbeispiele der unterschiedlichen eVTOL-Kategorien

3.3.2 Auswahl der betrachteten eVTOLs

Die in Kapitel 3.3.1 dargestellten Kategorien erlauben eine erste prinzipielle Einordnung der zugrunde gelegten Antriebskonzepte bzw. des Verwendungszwecks. Für eine Eignung als kommerziell betriebenes Flugtaxi sind jedoch weitere Kriterien zu prüfen. Daher werden die Fluggeräte bzgl. ihrer Relevanz für die Machbarkeit am FKB sowie ihres möglichen Einsatzspektrums näher betrachtet und entsprechend bewertet.

3.3.2.1 Relevanz für die Machbarkeit am FKB

Die hohe Anzahl und Vielfalt der Projekte kann in dieser Studie nicht detailliert betrachtet werden, vielmehr ist es das Ziel, die relevanten Informationen über die Fluggeräte zu erfassen und anhand von festgelegten Kriterien eine systematische Auswahl näher betrachteter eVTOL-Projekte zu treffen. Die auf den Internetseiten *TransportUP* und *Electric VTOL NewsTM* gelisteten Projekte werden dann anhand der sechs in der Tabelle 4 gezeigten Auswahl-Kriterien bewertet.

Tabelle 4: Auswahl-Kriterien und Relevanz für die Machbarkeit am FKB

Kriterium	Relevanz	Auswahl
Bauart-Klassifizierung	Bauartbedingte Eignung als gewerbliches Flugtaxi sowie ausreichende Passagierkapazität	Alle Bauarten außer Hover Bikes und Personal Flight Devices
Art der Flugführung	Notwendigkeit eines lizenzierten Berufspiloten	Alle mit Möglichkeit zur manuellen Flugführung
Transportkapazität	Abdeckung des Bedarfs an Nutzlast und Reichweite	Alle mit 2 bis 5 Sitzen, als typische Anzahl für einen Taxibetrieb
Projektreife	Verbleibender Zeitrahmen bis zur Markteinführung	Alle Projekte die sich mindestens in den ersten Flugversuchen befinden
Zulassungskategorie	Voraussetzung für den gewerblichen Flugbetrieb	Datenbestand zu gering, vorerst keine Auswahl
Antriebskonzept	Bereitstellung geeigneter Energie- und Kraftstoffversorgung	Alle ausschließlich elektrisch betriebenen eVTOLs

Unter Anwendung der genannten Auswahl-Kriterien ergibt sich eine deutlich reduzierte Anzahl von relevanten eVTOL-Projekten, die insbesondere in Bezug auf die vom Hersteller genannte Reichweite näher betrachtet werden können (Tabelle 5). Eine Erweiterung der gezeigten Tabelle ist im Anhang B.1 enthalten.

Tabelle 5: Ausgewählte eVTOL-Projekte

Hersteller	Projekt	Sitzplätze	Reichweite
Airbus Helicopters	CityAirbus	4	50-60 km*
Astro	Elroy	2	20-29 km**
Aurora Flight Sciences / Boeing	PAV	2	80 km
Electric Aircraft Concept	Whisper	2	nicht bekannt
Joby Aviation	S4	4	241 km
Lilium	Lilium Jet	5	300 km
Tier 1 Engineering	R44 Tier 1	4	56 km
Volocopter	2X	2	27 km
Wisk (Kitty Hawk)	Cora	2	40 km

*Quelle: Wikipedia | **berechnet aus max. Geschwindigkeit und max. Flugzeit

Diese Auswahl hat aufgrund der nur bedingt zur Verfügung stehenden Daten keinen Anspruch auf Vollständigkeit, zeigt aber die methodische Vorgehensweise und kann bei Erhalt weiterer Informationen jederzeit überarbeitet oder erweitert werden.

Grundsätzlich ist zu bemerken, dass sich bei den eVTOL-Entwicklungen einige Tendenzen abzeichnen. Im Rahmen der zunehmend betrachteten Einsatz- und Alltagstauglichkeit rücken die Themen Nutzlast, Reichweite und Passagierkomfort mehr in den Mittelpunkt der Diskussion. Es ist davon auszugehen, dass diese Aspekte bei der Entwicklung von zukünftigen eVTOLs im Vergleich zu den heute bekannten Modellen zunehmend Berücksichtigung finden.

- Nutzlast: größere Passagierkabinen, zusätzlich Gepäckräume, erhöhte Zuladung.
- Reichweite: Hybridantriebe mit Batterien und Brennstoffzellen oder Verbrennungsmotoren.
- Komfort: Geräuscentwicklung in der Kabine, Klimatisierung, erhöhtes Leergewicht.

Zusammenfassend ist davon auszugehen, dass zukünftige eVTOLs tendenziell größer und schwerer werden und neben einer Ladestromversorgung auch eine Versorgung mit flüssigen oder gasförmigen Kraftstoffen benötigen werden.

3.3.2.2 Mögliches Einsatzspektrum

Um die Vielfalt dieser Entwicklungen aus der Sicht eines Vertiport-Betreibers bzw. Infrastruktur-Planers methodisch zu bewerten, soll das mögliche Einsatzspektrum der Fluggeräte, bezogen auf das Einzugsgebiet des Flughafens, dargestellt werden. Die Darstellung soll einfach, verständlich und erweiterbar sein. Weiterhin müssen die verwendeten Daten verfügbar sein, d. h. von den eVTOL-Entwicklern preisgegeben werden.

Hier bietet sich die Verwendung der bei fast allen Projekten angegebenen Anzahl der Sitzplätze sowie die Reichweite an. Auch wenn sich die Entwicklungen noch in einer sehr frühen Konzeptphase befinden, werden fast immer mindestens die Zielgrößen dazu angegeben. Die Belastbarkeit dieser Angaben ist aktuell in vielen Projekten noch nicht gegeben und diese Daten werden vermutlich erst im Rahmen der Musterzulassungen (Type Certification) verifiziert, sie erlauben aber eine erste Einordnung der LFZ und einen überschlägigen Vergleich des möglichen Einsatzspektrums.

Dazu werden diesen Parametern die wesentlich relevanten Größen aus der Perspektive eines Flugtaxi-Passagiers zugeordnet: Transportkapazität und Entfernung zum Zielort.

Sitzplätze ↔ Transportkapazität (Carrying Capacity)

Reichweite ↔ Entfernung zum Zielort (Destination Distance)

Abbildung 7 stellt die für den Flughafen Köln/Bonn definierte Carrying Capacity vs. Destination Distance Matrix (CC/DD-Matrix) dar. Hier kann für das Einzugsgebiet von 150 km und einem prognostizierten Transportbedarf von bis zu 5 Passagieren mit Gepäck eine Einordnung der betrachteten eVTOL-Fluggeräte erfolgen.

Bei der Erstellung der CC/DD-Matrix, wird von einem direkten Hin- und Rückflug, ohne eine Aufladung der Batterien am Zielort ausgegangen. Daher ist die Hälfte der vom Hersteller angegebenen maximalen Reichweite (Tabelle 5), mit der Entfernung zum Zielort gleichgesetzt.

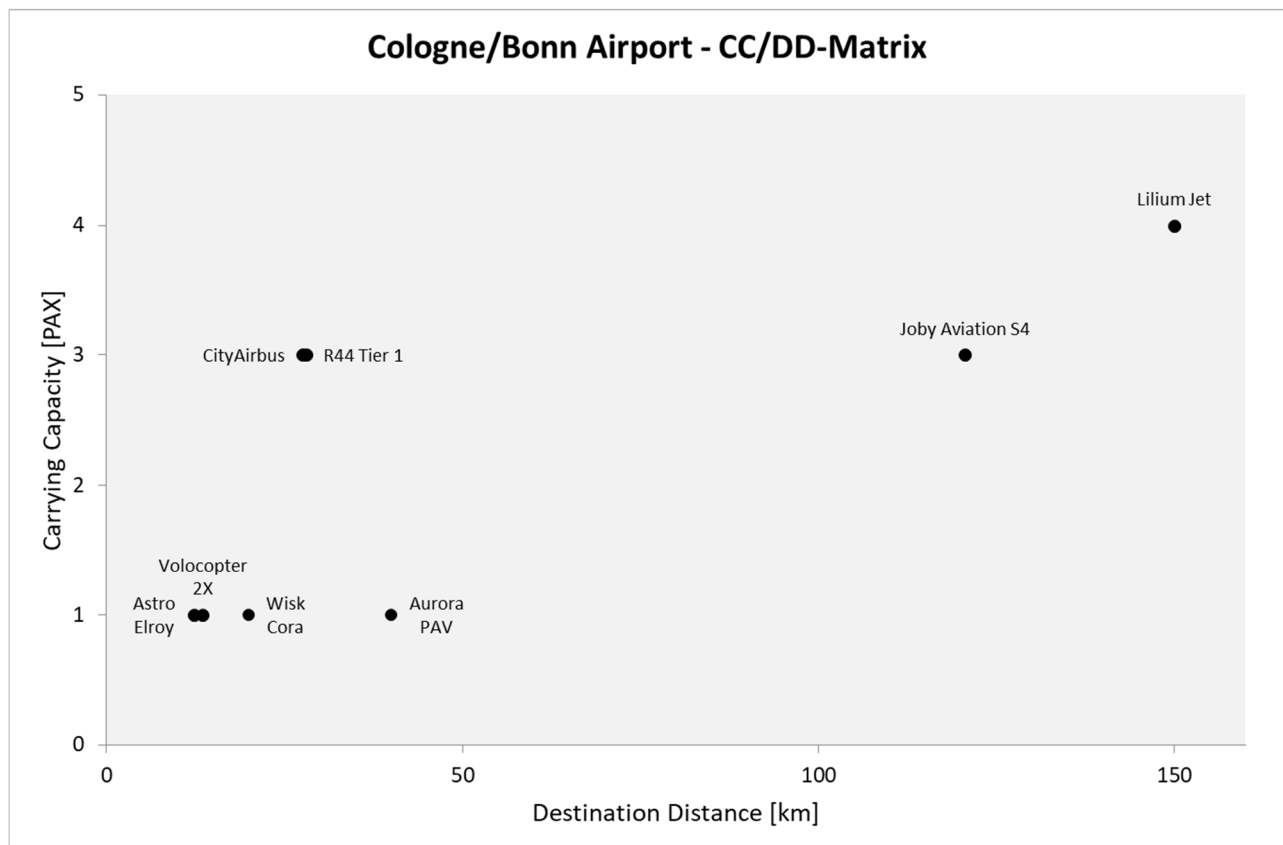


Abbildung 7: CC/DD-Matrix für den Flughafen Köln/Bonn

Da die flugbetrieblichen Regularien für eVTOLs noch nicht definiert sind, werden in dieser Betrachtung aktuell keine Flugzeit- oder Energiereserven berücksichtigt. Diese Reserven haben aber bei der Betrachtung des Einsatzspektrums einen signifikanten Einfluss auf die real zur Verfügung stehende Reichweite. Hier müssen zunächst entsprechende Vorgaben von den Regulierungsorganen definiert und veröffentlicht werden. Die Vorgaben müssen dann bei den Musterzulassungen der eVTOLs und Betriebsgenehmigungen der Flugtaxidienste entsprechend berücksichtigt werden. Um eine realistischere Aussage über erreichbare Ziele treffen zu können, sollten zukünftig in der CC/DD-Matrix die sich unter Berücksichtigung von Reserven ergebenden geringeren Reichweiten Verwendung finden.

Entscheidend für die Transportkapazität eines LFZ, ist neben der Verfügbarkeit von Sitzplätzen und Gepäckräumen, natürlich die maximale Nutzlast. Bei den Passagieren der an einem internationalen Verkehrsflughafen operierenden Fluggesellschaften, ist im Vergleich zu z. B. innerstädtischen Taxidiensten, grundsätzlich von einem erhöhten Gepäckaufkommen auszugehen. Hier zeigt sich aber bei den betrachteten eVTOLs, häufig eine gewisse Diskrepanz zwischen Sitzplatzangebot und Nutzlast. Es ist aktuell nicht davon auszugehen, dass bei einem Flugtaxi pro verfügbaren Sitzplatz auch 23 kg Gepäck und 7 kg Handgepäck als Nutzlast oder Ladevolumen zur Verfügung stehen. Als Maß für die Transportkapazität (Carrying Capacity) wird daher die Anzahl der verfügbaren Passagiersitzplätze in der CC/DD-Matrix verwendet. Alternativ könnte bzw. sollte, bei entsprechender Datenverfügbarkeit, eine Darstellung über die maximale Nutzlast (max. Payload) erfolgen.

Ergänzend ist in Abbildung 8 das im Flugzeugbau übliche Nutzlast-Reichweiten-Diagramm (Payload-Range-Diagramm) dargestellt.

Auch wenn bei einem Elektroflugzeug keine unmittelbaren Gewichtsveränderungen durch den Kraftstoffverbrauch während des Fluges auftreten, so ist der funktionale Zusammenhang einer größeren Reichweite bei niedrigerem Gewicht, und umgekehrt, gegeben.

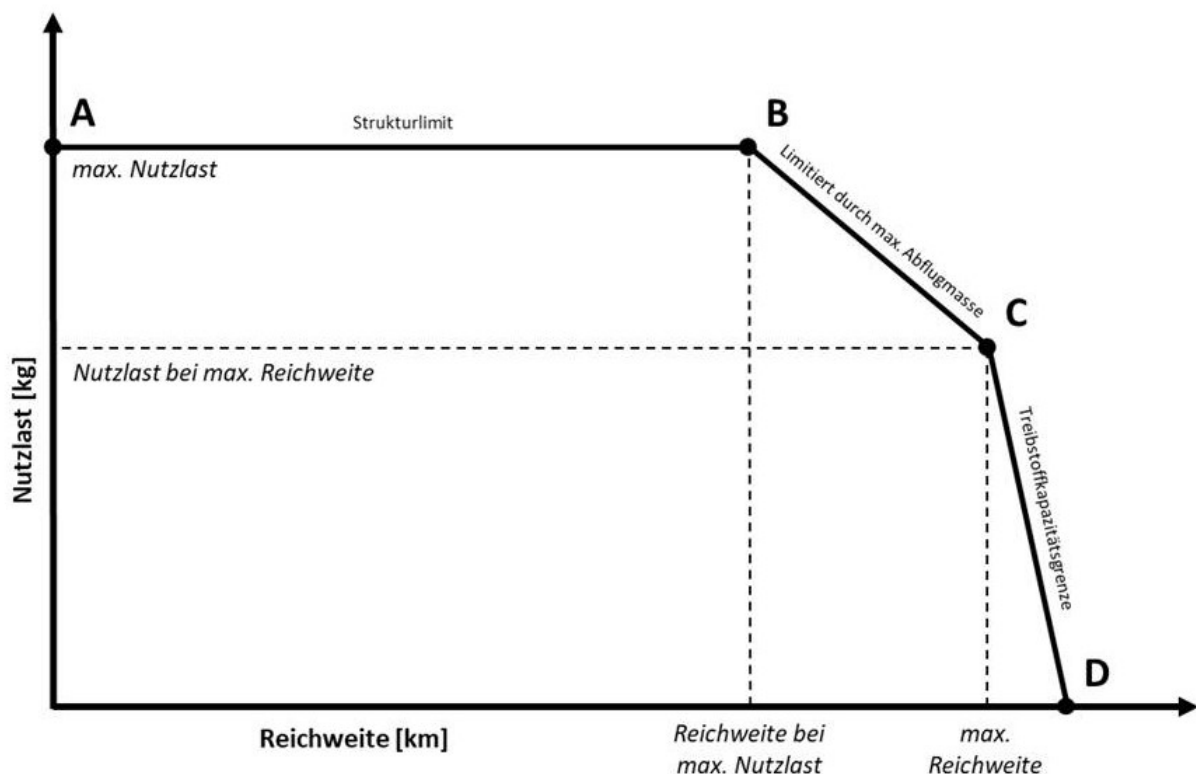


Abbildung 8: Nutzlast-Reichweiten-Diagramm

Die Unterscheidung der Betriebszustände *max. Reichweite (Punkt C)* und *Reichweite bei max. Nutzlast (Punkt B)* gilt auch bei der Betrachtung der CC/DD-Matrix, d. h. dass die dargestellten Maximalwerte nicht gleichzeitig erreicht werden können, sondern entweder die maximale Reichweite bei geringerer Zuladung, oder die maximale Anzahl an Passagieren bei geringerer Reichweite.

Wie erwähnt, erhebt die in Abbildung 7 dargestellte CC/DD-Matrix aufgrund der vielfältigen Entwicklungen und nur bedingten Datenverfügbarkeit, keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie erlaubt aber eine erste neutrale Einordnung der eVTOLs in dem definierten Einsatzspektrum und kann als Grundlage für planerische und strategische Überlegungen dienen.

4 Anforderungen an Flugbetriebsflächen

Für den Betrieb eines Flugplatzes sind Flächen erforderlich, die einen sicheren und störungsfreien Betrieb ermöglichen. Im Folgenden sollen die möglichen Anforderungen an Genehmigungen solcher Flächen und deren Ausgestaltung und erforderliche Anzahl zusammengestellt werden.

Hierfür wird davon ausgegangen, dass es an einem Standort wie dem FKB nicht nur zu sporadischen Flugtaxibetrieb kommt, sondern aufgrund des hohen potentiellen Passagieraufkommens und der vielfältigen Verkehrsanbindungsmöglichkeiten einen Vertiport mit der Charakteristik eines Verkehrsknotenpunkts (Flugtaxi-Hub) geplant werden muss. Daher werden in dieser Studie die Anforderungen an die eigentliche Start- und Landefläche, sowie an Stellplätze und Parkpositionen betrachtet.

Für den Fall, dass ein Flugtaxi-Betreiber erforderliche Wartungen, Reparaturen und Überholungen (Maintenance, Repair and Overhaul: MRO) am Standort durchführen möchte, werden all-gemeine Kriterien für Instandhaltungsstandorte betrachtet. Es wird davon ausgegangen, dass diese Instandhaltungsaktivitäten nicht unmittelbar am Vertiport durchgeführt werden, sondern am Beispiel des FKB entweder auf der luftseitigen Flugbetriebsfläche oder außerhalb des Flughafengeländes im Einzugsgebiet des Flughafens angesiedelt würden (eVTOL-Basis).

4.1 Genehmigung zu Anlage und Betrieb von Landeplätzen

Flugplätze sind in Flughäfen, Landeplätze und Segelfluggelände eingeteilt. Hubschrauberflugplätze zählen zu den Landeplätzen (s. Abbildung 9). Der Betrieb eines Flugplatzes wird durch die Luftverkehrsbehörde des jeweiligen Bundeslandes (Landesverkehrsministerium) nach § 6 des Luftverkehrsgesetz (LuftVG) in Verbindung mit den §§38-53 der Luftverkehrs-Zulassungs-Ordnung (LuftVZO) genehmigt. Weiterhin wird entsprechend der §§38 und 49 LuftVZO in Bezug auf die Nutzergruppen zwischen Flughäfen und Landeplätzen des allgemeinen Verkehrs und Flughäfen und Landeplätzen für besondere Zwecke unterschieden.

Der FKB ist ein internationaler Verkehrsflughafen, hat einen Bauschutzbereich und ist für den allgemeinen Verkehr zugelassen. Die Einrichtungen des Flughafens sind entsprechend der EG Verordnung Nr. 300/2008 in die Luftseite zur Abwicklung des Flugverkehrs und in die Landseite zur Passagierabfertigung sowie zur Anbindung an die bodengebundenen Verkehrssysteme unterteilt.

Aufgrund der Zielsetzung, für einen Flugtaxidienst eine optimale Verkehrsanbindung zu realisieren, soll der Vertiport auf der Landseite des Flughafens gebaut werden. Die Entwicklung und der Betrieb eines solchen Platzes steht grundsätzlich neben dem Verkehrsflughafen Köln/Bonn.

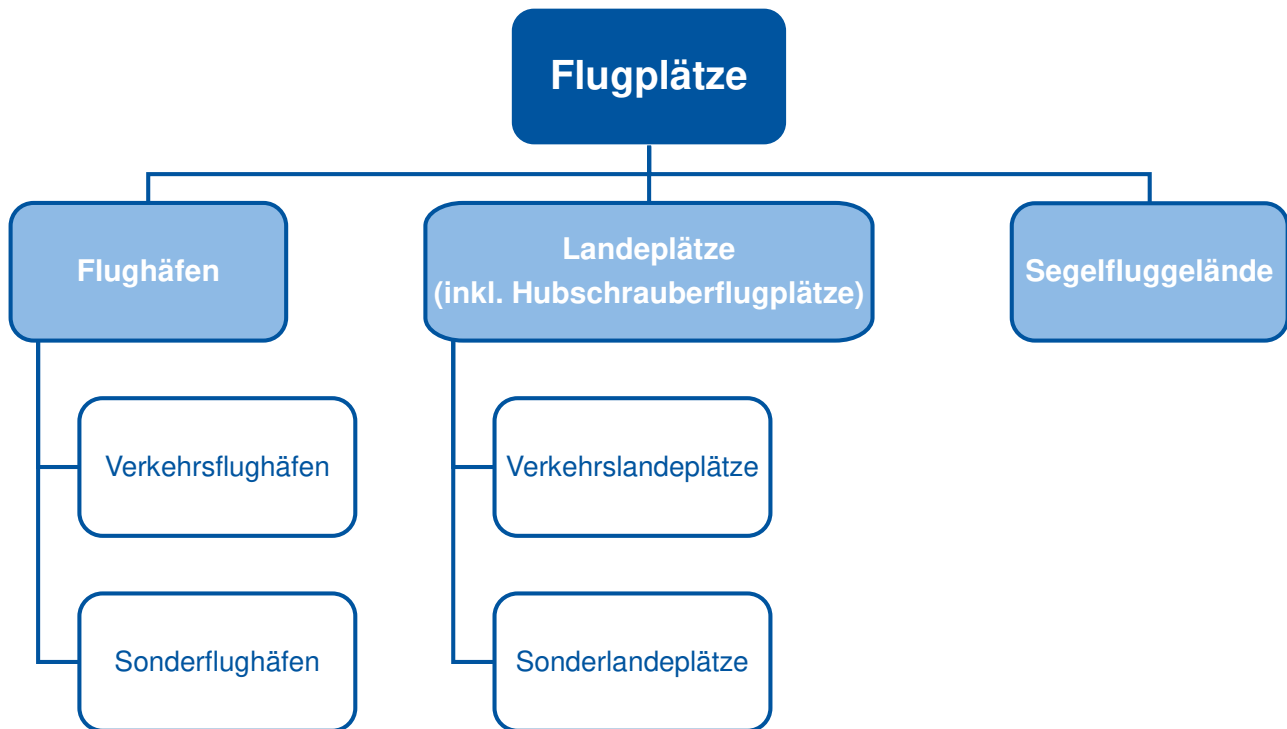


Abbildung 9: Flugplätze Kategorien

Bislang gibt es keine Regulierungsorganisation, Agentur oder Regierung, die Standards oder Empfehlungen für den speziellen Fall von Infrastrukturen für den Betrieb von eVTOLs entwickelt hat. Es ist davon auszugehen, dass spezifische Regelungen für den Betrieb und die Infrastruktur von eVTOLs aufgestellt werden, die sich in den Grundzügen an den bereits bestehenden Regelungen orientieren werden. Aufgrund der physikalischen Eigenschaften von eVTOLs sowie ihrer vertikalen Flugfähigkeit gilt der Hubschrauber als das am besten vergleichbare Fahrzeug zu einem eVTOL. Der derzeitige Rechtsrahmen für die Gestaltung von Hubschrauberlandeplätzen ist in Abbildung 10 dargestellt.

Diese neue Infrastruktur wird wahrscheinlich analog eines Hubschrauberverkehrsflugplatzes oder eines Hubschraubersonderflugplatzes nach § 6 des LuftVG genehmigt werden. Es ist zu beachten, dass ein Hubschrauberverkehrsflugplatz in der Regel einen einfacheren Weg zur Genehmigung hat, da sichergestellt ist, dass er der Allgemeinheit und nicht einer bestimmten Person oder Firma zugutekommt. Ähnliches wird voraussichtlich auch für Vertiports gelten. Aufgrund der einzigartigen Eigenschaften jedes eVTOL und der Anforderungen, die jedes eVTOL an die Infrastruktur für den Betrieb stellt (insbesondere möglicher erhebliche Unterschiede in der für das Aufladen erforderlichen Infrastruktur), ist es jedoch möglicherweise nicht realistisch, einen Vertiport zu entwickeln, der von mehreren Arten von eVTOLs verwendet werden kann.

Eine kompakte Übertragung dieses Rechtsrahmens, mit Annahmen für den spezifischen Fall von eVTOL Operationen an Vertiports, ist in Anhang C dargestellt. Alle angegebenen Anforderungen

sind Anpassungen bestehender Vorschriften, die für Hubschrauberlandeplätze gelten. Das wichtigste Dokument, auf dem dieser Anforderungskatalog basiert, ist das *ICAO Annex 14, Volume II Heliports*. Zu einem geringeren Anteil basiert das Dokument auf dem *ICAO DOC 9261 Heliport Manual* und dem deutschsprachigen Dokument *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Hubschrauberflugplätzen*. Für die Entwicklung dieses Anforderungskatalogs wurden die für den Betrieb von Hubschraubern auf einem Heliport geltenden Anforderungen an den Betrieb von eVTOLs auf einem Vertiport angepasst. Alle Anforderungen sind ausschließlich auf die Entwicklung der für den Betrieb von eVTOLs erforderlichen Infrastruktur ausgerichtet.

Es ist zu beachten, dass aufgrund der technologischen Fortschritte, die in die Entwicklung von eVTOLs eingeflossen sind, erwartet wird, dass ihre Steuerungsfähigkeit und Navigationsfähigkeit mindestens gleichwertig und höchstwahrscheinlich besser sein wird als die von Hubschraubern. Die in dieser Machbarkeitsstudie verwendete Methodik der Adaption der bestehenden Regelungen für Hubschrauber ist eher konservativ. Die im Zusammenhang mit dieser Machbarkeitsstudie relevantesten Annahmen zur Adaption sind die Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften eines Vertiports sowie an die Hindernisumgebung. Diese beiden Themen werden im Kapitel 5 weiter untersucht.

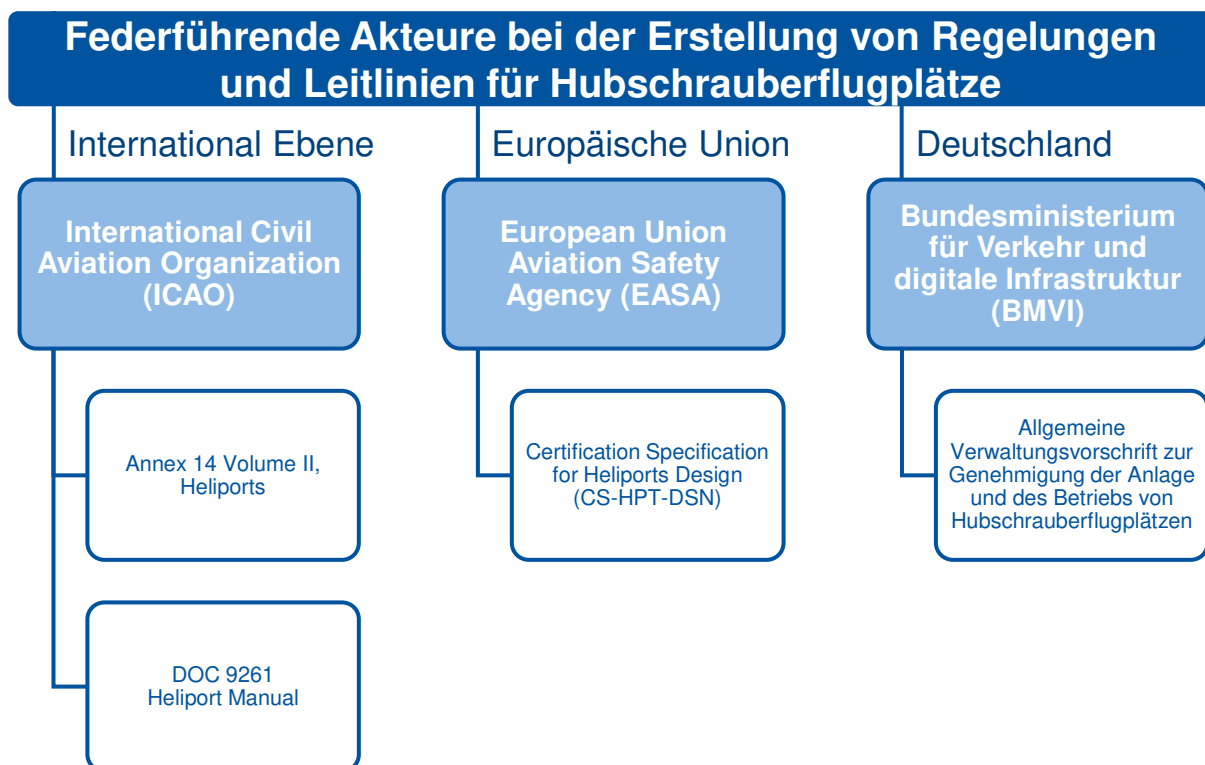


Abbildung 10: Regelungen und Leitlinien zum Thema Hubschrauberflugplätze

4.2 Auswahlkriterien für Vertiport-Standorte

Die Wahl eines möglichen Standorts für die Entwicklung eines Vertiports hängt stark von spezifischen Standortmerkmalen ab. Einige der bestimmenden Faktoren sind:

- geografische Bedingungen wie zum Beispiel Geländehöhe;
- bereits bestehende Infrastruktur, die für die Entwicklung eines Vertiports geeignet sein könnte;
- hohe oder große Strukturen, die den Betrieb von eVTOLs behindern können;
- Wetterbedingungen, vor allem Windrichtung- und Geschwindigkeitsverteilungen.

Ergänzend zu den Standortfaktoren sind allgemeine Kriterien, die bei der Auswahl des Standorts eines Vertiports berücksichtigt werden sollten, vorstellbar. Mögliche Kriterien könnten zum Beispiel sein:

- **Passagierzugänglichkeit:** Ein kritischer Punkt für den Erfolg eines Flugtaxidienstes ist die Art, mit der er sich in das bereits bestehende Verkehrssystem integriert. Daher sollte der Vertiport sowohl leicht zugänglich als auch barrierefrei sein. Am Beispiel des FKB sollte der Vertiport sowohl für ankommende als auch für abfliegende Passagiere zugänglich sein und vorzugsweise in Laufnähe zu den Ein- und Ausstiegspunkten liegen. Wenn ein bestimmter Standort nicht zu Fuß von den Flughafen-Terminals erreichbar wäre, würde ein Shuttle-Service erforderlich werden, um die Passagiere zwischen den Terminals und dem Vertiport zu befördern.
- **Hindernisfreiheit:** Die Anfangs- und Endphase eines jeden Fluges sind oft die kritischsten und gefährlichsten, für die alle Vorkehrungen getroffen werden müssen, um die Sicherheit der Personen an Bord des Flugzeugs sowie am Boden und unter der Flugbahn zu gewährleisten. Die Einsatzmöglichkeiten von eVTOLs sind derzeit noch nicht vollständig bekannt, weshalb es noch nicht möglich ist, genau zu wissen, welche Sicherheitsstandards für den Betrieb von eVTOLs erforderlich sein werden. Für diese Studie sind jedoch Überlegungen zu den Merkmalen des Geländes unterhalb der Flugbahn der Anfangs- und Endphase des Fluges anzustellen, die bei der Wahl des Standorts eines Vertiports Berücksichtigung finden sollten. Um sicherzustellen, dass die Widerigkeiten beim Fliegen minimiert werden, müsste ein Vertiport so angeordnet sein, dass mögliche Hindernisse, die den Betrieb von eVTOLs behindern könnten, minimiert werden.
- **Lärmbelästigung:** Ein möglicher Vertiport wäre so anzuordnen, dass die Lärmauswirkungen so gering wie möglich sind. Dabei sollte besonders auf lärmsensible Bereiche wie Krankenhäuser, Schulen oder Geschäftsräume geachtet werden. Die durch An- und Abflugbetrieb überflogenen Gebiete sind neben dem Gebiet unmittelbar in der Nähe des Vertiports am ehesten vom Lärm betroffen. Der Umgebungslärmpegel (Hintergrundlärm, der bereits an einem bestimmten Ort vorhanden ist) kann bei der Wahl des Standorts eines Vertiports ebenfalls berücksichtigt werden.

- **Erweiterbarkeit:** Es wird erwartet, dass der Flugtaxi Service deutlich expandieren wird, da immer mehr Flugziele für eVTOLs zugänglich sind. Der Standort, an dem ein Vertiport gebaut werden könnte, sollte daher unter Berücksichtigung der Verfügbarkeit von weiteren Flächen in der Nähe gewählt werden, die eine Erweiterung des Vertiports ermöglichen würden.

4.3 Anforderungen an Start- und Landefläche

Der Bereich, in dem der eVTOL seine Anfangs- und Endphase des Fluges, einschließlich Start und Landung, durchführt, wird Endanflug- und Startfläche (Final Approach and Takeoff: FATO) genannt. Es ist davon auszugehen, dass ein Vertiport mindestens eine FATO haben muss.

Mit einer FATO sind normalerweise verschiedene Flächen verbunden, die die Bereiche definieren, in denen sich eVTOLs sicher bewegen können. Ein Beispiel dieser für einen Vertiport anhand der Regelungen für Helikopter adaptierten FATO ist in Abbildung 11 zu sehen. In der Abbildung ist in der Mitte als graue Fläche die FATO selbst dargestellt. Sie ist die einzige Fläche, die befestigt sein muss. Sie stellt den Bereich dar, in dem ein Flugtaxi tatsächlich starten und landen könnte. Der grün dargestellte Bereich um die FATO ist der Sicherheitsbereich. Diese Fläche muss nicht befestigt aber frei von Hindernissen sein. Die hellblaue dargestellte Kreisfläche ist eine Schutzfläche, die sich mit einer Neigung von 45° vom Sicherheitsbereich nach außen und oben erstreckt. Zusätzlich zu den Kreisflächen sind die beiden in Abbildung 11 erkennbaren blauen Korridore, die Hindernisbegrenzungsflächen, dargestellt. Sie definieren die Grenzen, bis zu denen Objekte in den Luftraum hineinragen dürfen. Die Dimensionierung aller vorgenannten Flächen ist abhängig von der größten Gesamtabmessung des größten eVTOL, für den der Vertiport ausgelegt ist.

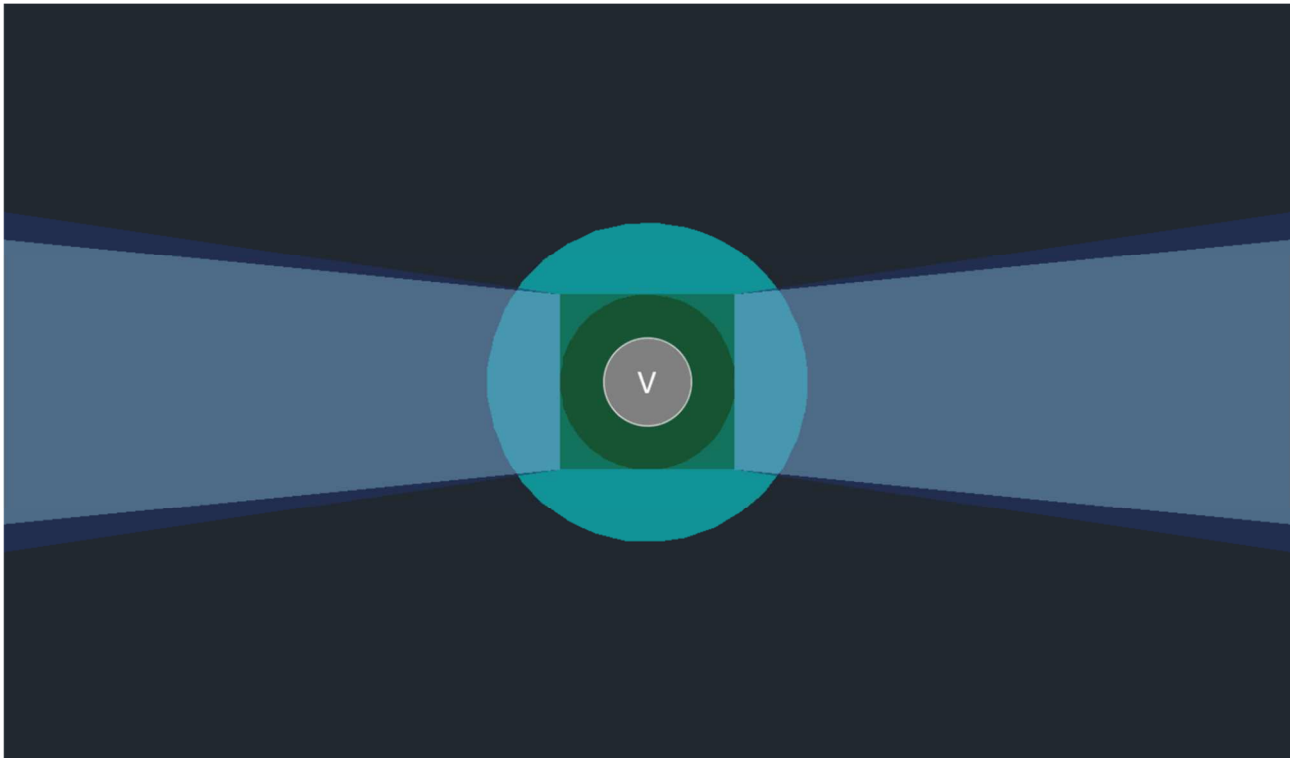


Abbildung 11: Beispiel einer FATO

4.4 Anforderungen an Stellplätze und Parkpositionen

Ein eVTOL-Hub mit der Charakteristik eines Verkehrsknotenpunkts sollte einerseits eine optimierte Kapazität an Flugbewegungen, andererseits eine angemessene Flexibilität und Puffermöglichkeiten für Auslastungsschwankungen und Unabwägbarkeiten aufweisen. Daher wird in der Modellierung von einem Start- und Landeplatz, sowie einer Kombination aus Stellplätzen inkl. Ladestrom zur Abfertigung und Parkpositionen zum temporären Abstellen ohne Abfertigung ausgegangen.

Ein Beispiel für einen möglichen Stellplatz, der den vom Helikopter adaptierten Regelungen und Vorschriften in Anhang C entspräche, ist in Abbildung 12 zu sehen. Auch hier sind verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Verwendungszwecken dargestellt. Die grüne Fläche ist einen Sicherheitsbereich, der während des Betriebs hindernisfrei sein muss (wie die in Kapitel 4.3 beschriebene grüne Fläche für die FATO). Die hellgraue Fläche mit gelber Umrandung stellt den Standplatz selbst dar. Die dunkelgraue Fläche in der Mitte wäre die Touchdown and Lift-off Area (TLOF) Fläche. Sie unterscheidet sich von der Stellplatz durch ihre dynamische Belastbarkeit, da sie den Belastungen, die ein eVTOL bei der Landung erzeugt, standhalten muss. Der gelbe Umfang in der Mitte ist die Aufsetzmarkierung, die dem Piloten hilft, das LFZ bei der Landung genau zu positionieren.

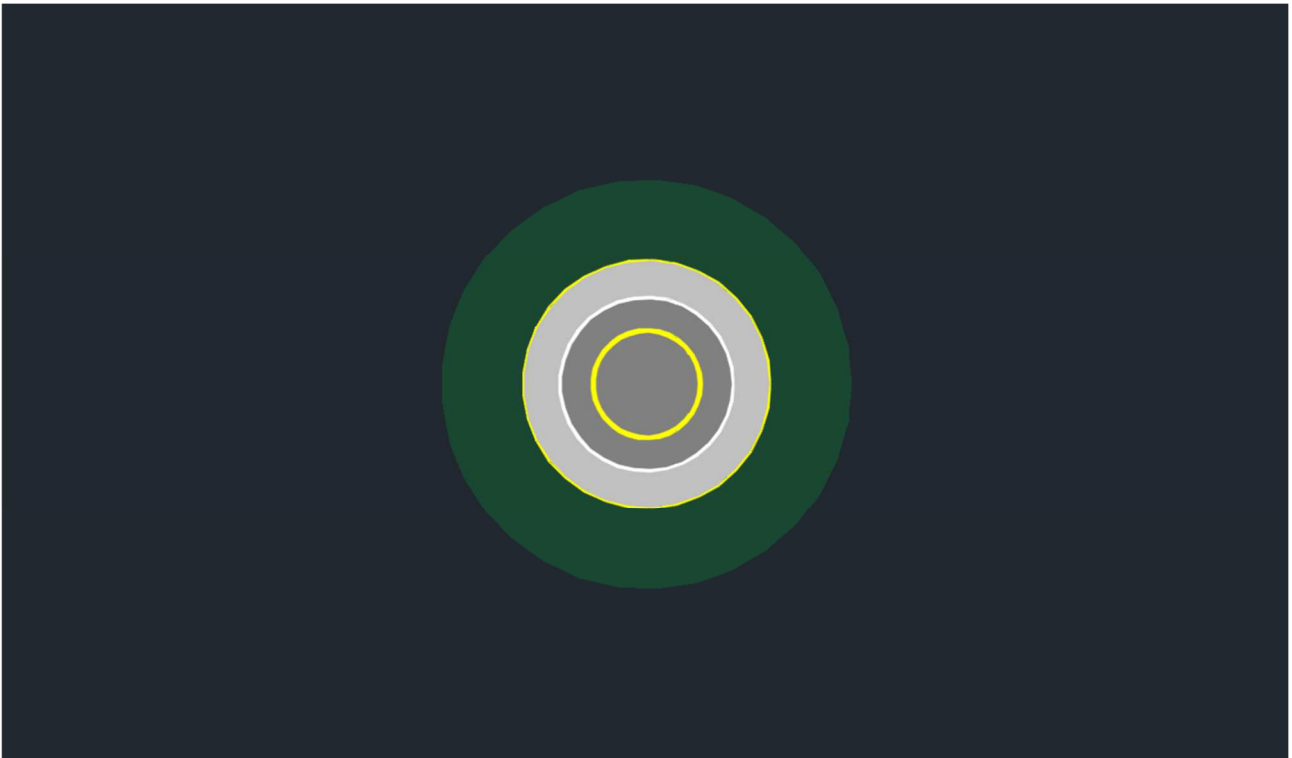


Abbildung 12: Beispiel eines Stellplatzes

Wie bei der FATO und bei Stellplätzen und Parkpositionen für Helikopter ist davon auszugehen, dass, die Dimensionierung von allen Flächen von der größten Gesamtabmessung des größten eVTOL, für den der Vertiport ausgelegt ist, abhängig ist.

Die Anordnung der durch Rollbahnen verbundenen Positionen kann grundsätzlich an bauliche und operative Gegebenheiten angepasst werden und findet in der Bewertung potentieller Standorte (Kapitel 5) Beachtung. In Abbildung 13 sind Beispiele für mögliche Konfigurationen von FATO und Stellplätzen dargestellt.

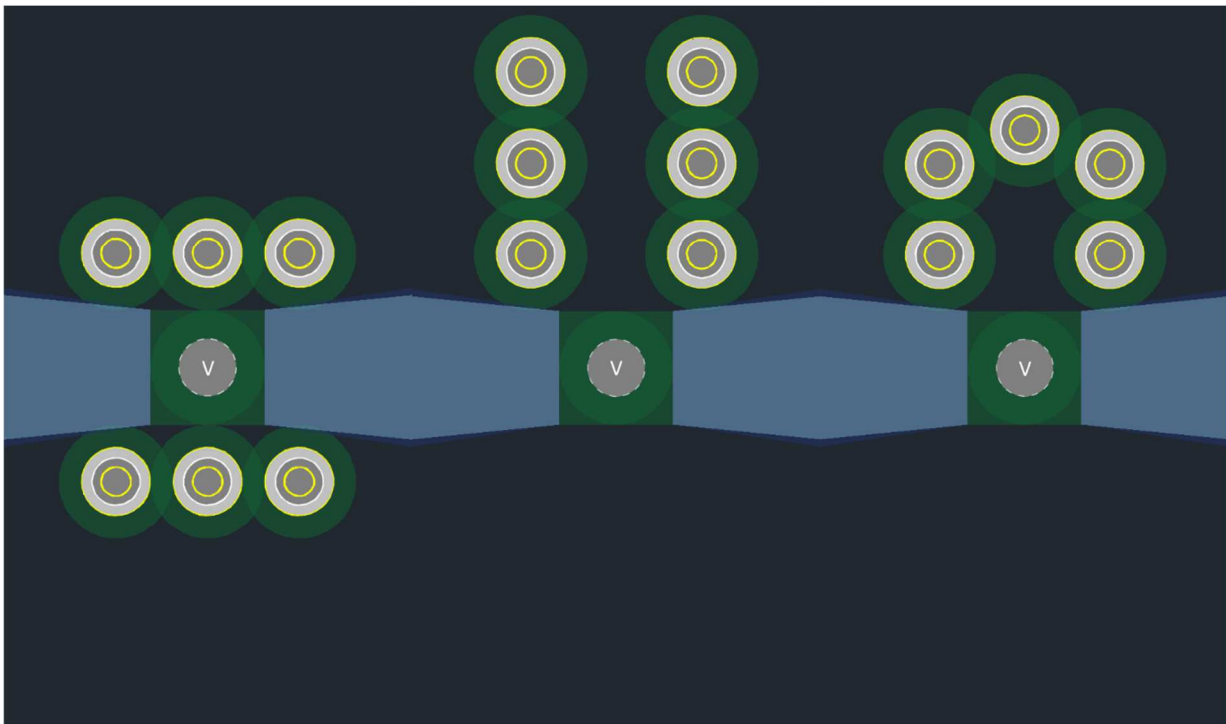


Abbildung 13: Verschiedene Anordnungen von FATO und Stellplätzen

4.4.1 Anzahl erforderlicher Stellplätze

Die theoretisch erforderliche Anzahl der Stellplätze kann berechnet werden indem der Anflug, die Bodenabfertigung und der Abflug des Flugtaxis als Prozess modelliert werden, um anschließend die Kapazitäten der einzelnen Vorgänge betrachten zu können. Als kritisches Auslegungsszenario wird dabei ein zeitlich ungestörtes durchschnittliches An- und Abflugverfahren, sowie die maximal zu erwartende Ladedauer der LFZ-Batterie bei der Abfertigung am Boden angenommen (Abbildung 14).

Im Luftverkehr werden diese Vorgänge üblicherweise eindeutig durch das Vorlegen der Radklötze (on-blocks) und das Entfernen der Radklötze (off-blocks) bzw. die sich daraus ergebende Umkehrzeit (turnaround time) abgegrenzt. Entscheidend für die Betrachtung des Prozesses sind die Zeiten, in denen das LFZ entweder den Start- und Landeplatz oder den Stellplatz belegt und damit für andere LFZ blockiert.

In dem dargestellten Auslegungsszenario wird davon ausgegangen, dass die Abwicklung der Starts und Landungen im Kreisverkehr erfolgt. Das heißt, dass die An- und Abflugrichtung je nach vorherrschender Windrichtung für den Vertiport von der Flugsicherung festgelegt wird, die Flugtaxis wie auch bei einer Landebahn üblich in gleicher Richtung an- und abfliegen und somit nicht auf Kollisionskurs sind (Abbildung 15).

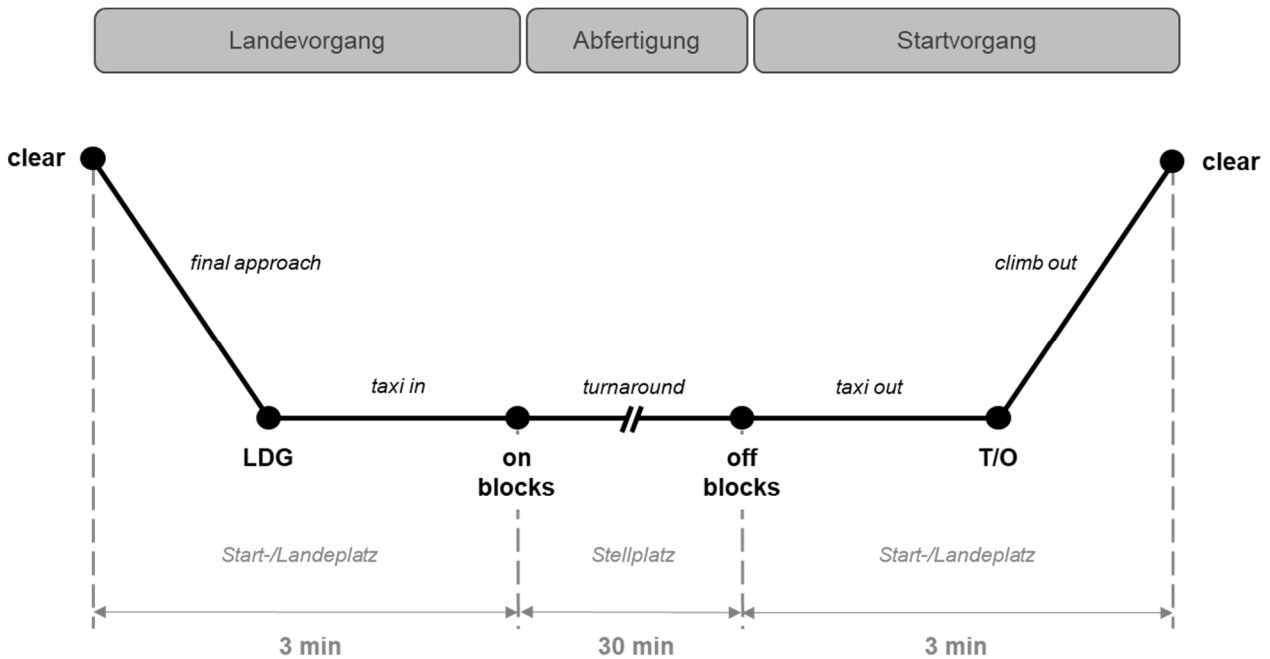


Abbildung 14: Betrachtung eines zeitlich ungestörten Prozesses

Müsste die Abwicklung aufgrund der Flughafeninfrastruktur (Boden oder Luft) im Einbahnverkehr (opposite landing and departure) erfolgen, so müssten An- und Abflugzeiten angepasst werden, da entsprechende Wartezeiten entstehen würden.

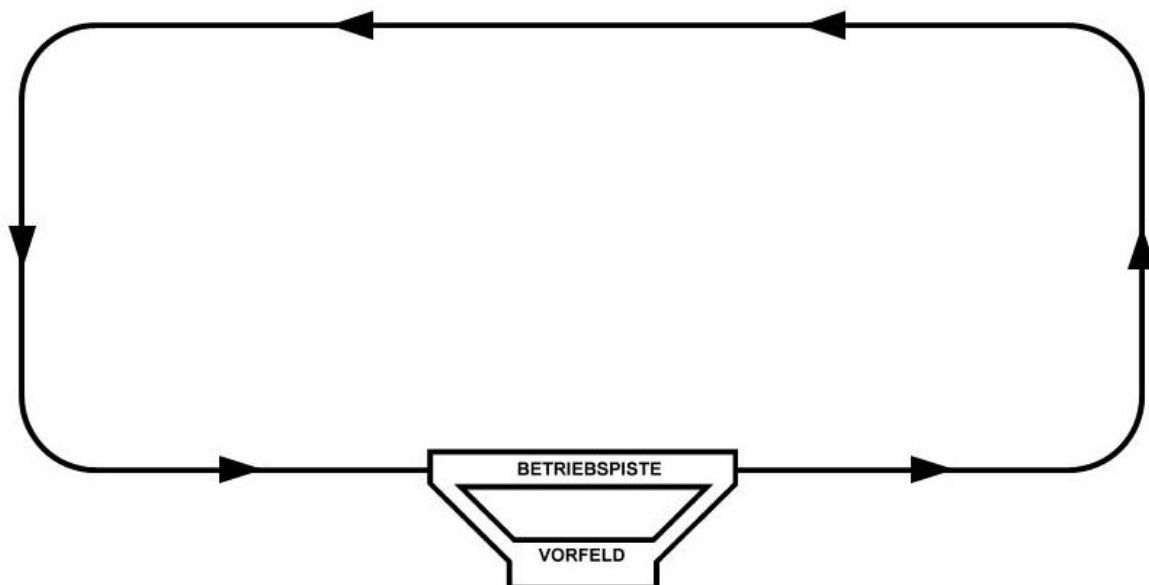


Abbildung 15: Flugbetrieb im Kreisverkehr

Die Positionen im Luftraum, an denen eine Lande- bzw. Startfreigabe (*clear*) erteilt werden kann, können zum aktuellen Planungsstand noch nicht genau definiert werden. Die Dauer für ein zeitlich ungestörtes durchschnittliches An- und Abflugverfahren nach Sichtflugregeln, kann aber nach Abstimmung mit den im Projekt beteiligten Experten mit jeweils 3 Minuten angenommen werden. Die Dauer des gesamten Vorgangs in dem der Start- und Landeplatz durch ein LFZ belegt ist, ergibt sich dann mit 6 Minuten.

Die maximale Ladedauer einer LFZ-Batterie im normalen Flugbetrieb wird aufgrund von Experteninterviews mit 30 Minuten angenommen. Es wird davon ausgegangen, dass die parallel ablaufende Abfertigung der Passagiere innerhalb dieses Zeitraums stattfinden kann und keine zeitlich zusätzlich anzunehmende Aktivitäten an dem LFZ durchgeführt werden müssen.

Anmerkung: Dies setzt voraus, dass die Passagiere während des Ladevorgangs aus- und einsteigen dürfen. Die Ladestromverbindung muss dann unmittelbar nach on-blocks gesteckt und unmittelbar vor off-blocks entfernt werden. Ist dieses Vorgehen aus sicherheitstechnischen Gründen in der Flugbetriebsgenehmigung nicht gestattet, so muss hier mit zusätzlicher Zeit kalkuliert werden. Das Ergebnis der nachfolgenden Rechnung würde sich dadurch ggf. signifikant ändern.

Zur Berechnung der theoretisch erforderlichen Anzahl von Stellplätzen, werden zunächst aus den pro LFZ benötigten Zeiten (Zykluszeiten) des Start- und Landeplatzes sowie eines Stellplatzes die jeweiligen Kapazitäten (LFZ pro Stunde) ermittelt. Bei der Betrachtung ist zu beachten, dass bei der Abfertigung eines LFZ am Boden, jeweils ein Start und eine Landung stattfinden, so dass die Deutsche Flugsicherung (DFS) pro LFZ zwei Flugbewegungen koordinieren muss. Die Start- und Landeplatz Kapazität und die Stellplätze Kapazität werden somit wie folgt berechnet:

Start- und Landeplatz:

$$\text{Zykluszeit}_{\text{Start-und Landeplatz}} = 6 \text{ min/LFZ}$$

$$\Rightarrow \text{Kapazität}_{\text{Start-und Landeplatz}} = 10 \text{ LFZ/h} = 20 \text{ Flugb./h}$$

Stellplatz:

$$\text{Zykluszeit}_{\text{Stellplatz}} = 30 \text{ min/LFZ}$$

$$\Rightarrow \text{Kapazität}_{\text{Stellplatz}} = 2 \text{ LFZ/h}$$

Durch die längere Belegungsdauer an einem Stellplatz ergibt sich hier der Engpass für den Gesamtprozess, so dass die Kapazität des gesamte Vertiports durch nur einen verfügbaren Stellplatz auf 2 LFZ/h begrenzt würde.

Durch eine höhere Anzahl an Stellplätzen, kann die Gesamtkapazität des Prozesses jedoch *ausbalanciert* und an die Kapazität des Start- und Landeplatzes angepasst werden. Damit ergibt sich rechnerisch:

$$\# \text{ Stellplätze} = \text{Kapazität}_{\text{Start- und Landeplatz}} / \text{Kapazität}_{\text{Stellplatz}} = 10/2 = 5$$

Also ergibt sich bei einer Kombination aus einem Start- und Landeplatz mit 5 Stellplätzen, ein Optimum mit einer Gesamtkapazität von 10 LFZ/h und einer Gesamtzykluszeit von 6 min/LFZ. Für die Flugsicherung würde dies bedeuten, insgesamt 20 Flugbewegungen pro Stunde im Abstand von 3 Minuten abzuwickeln.

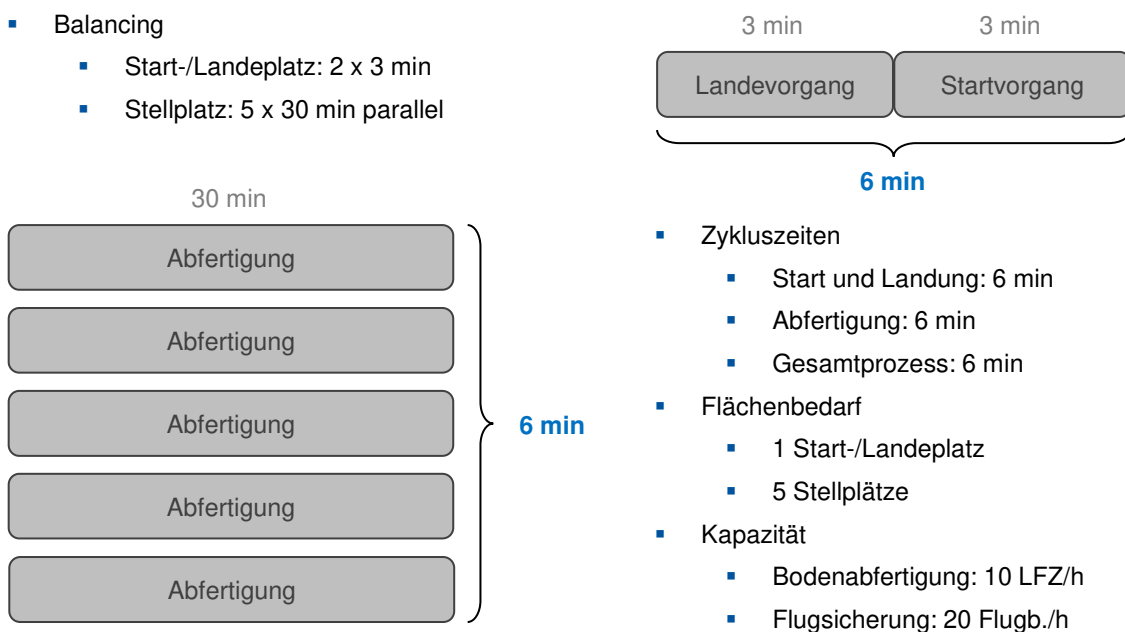


Abbildung 16: Balancing zur Ermittlung des Flächenbedarfs und der Kapazität

Eine noch höhere Anzahl von Stellplätzen würde die Gesamtkapazität des Vertiports nicht weiter steigern, da dann die Kapazität des Start- und Landeplatzes als Engpass limitierend wäre. Steigen würden jedoch die Investitionskosten für die Batterieladestationen, die zudem rechnerisch nicht ausgelastet wären.

Grundsätzlich zeigt das Auslegungsszenario, dass länger dauernde An- bzw. Abflüge oder kürzere Batterieladezeiten, die Anzahl der theoretisch erforderlichen Stellplätze verringern würde.

4.4.2 Anzahl erforderlicher Parkpositionen

Bei der Berechnung der theoretisch erforderlichen Anzahl der Stellplätze wurde von einem ideal fließenden Prozess ausgegangen, d. h. die Annahme das Anflug, Abfertigung und Abflug zeitlich

nicht gestört sind, war dimensionierend. In der Realität wird es durch Staffelungen im Flugverkehr, Auslastungsschwankungen, Wetterereignisse oder andere Unabwägbarkeiten zu deutlichen Abweichungen zu diesem Idealzustand kommen. Daher werden in der Modellierung des Vertiports Parkpositionen zum temporären Abstellen der LFZ als Puffer vorgesehen, ohne dass an diesen Positionen eine Passagierabfertigung oder Batterieladung geplant ist.

Die Anzahl der benötigten Parkpositionen ist aus der Prozessbetrachtung nicht unmittelbar abzuleiten. Hier spielt sowohl die Anzahl der am Standort stationierten Flugtaxi eine Rolle, als auch die Verfügbarkeit von alternativen Landeplätzen im erreichbaren Umfeld.

Um jedoch für diese Machbarkeitsstudie eine erste Diskussionsgrundlage zu ermitteln, wird basierend auf dem oben beschriebenen Szenario die Gesamtzahl der dafür benötigten LFZ abgeschätzt. Dazu beispielhaft folgende Annahmen und Berechnungen:

- Die durchschnittliche Entfernung der vom FKB aus angeflogenen Ziele beträgt 30 km
- Die durchschnittliche Fluggeschwindigkeit eines Flugtaxi beträgt 80 km/h
- Die Umkehrzeit am Zielort beträgt ohne Batterieladung 10 min
- Der Flugbetrieb findet von 6:00 bis 22:00 Uhr statt, d. h. 16 Stunden (960 Minuten) am Tag
- Die Gesamtzykluszeit wurde mit 6 min berechnet, d. h. alle 3 min landet oder startet ein LFZ

Somit ergibt sich für 60 km Hin- und Rückweg eine Flugzeit von 45 Minuten. Mit einer Umkehrzeit am Zielort von 10 Minuten und der Gesamtprozesszeit von 36 Minuten für die Abfertigung sowie An- und Abflug, ergibt sich eine Gesamtdauer für dieses Flugprofil von 91 Minuten.

Wird diese Gesamtdauer zugrunde gelegt, ist es möglich, die Gesamtzahl der An- und Abflüge pro LFZ während eines Tages sowie die Gesamtzahl der Turnarounds während eines Tages am FKB zu berechnen:

$$Turnarounds_{LFZ} = 960/91 \approx 10,5 \Rightarrow 10$$

$$Turnarounds_{gesamt} = 960/6 = 160$$

Damit lässt sich die Anzahl der für dieses Szenario erforderlichen Flugtaxi, also die angenommene Flottenstärke wie folgt berechnen:

$$\# LFZ_{erforderlich} = Turnarounds_{gesamt} / Turnarounds_{LFZ} = 160/10 = 16$$

Wie erwähnt spielen sowohl die am Standort tatsächlich stationierten Flugtaxi, als auch die Verfügbarkeit alternativer Landeplätze bei dieser Betrachtung eine erhebliche Rolle. Würde man jedoch dieses angenommene Szenario als dimensionierend erachten, so müsste man neben den 5 berechneten Stellplätzen zusätzlich noch 11 Parkpositionen errichten, um eine Flotte von 16 LFZ vollständig unterbringen zu können.

Neben den dafür nötigen Investitionen, ist insbesondere der erforderliche Flächenbedarf ein erheblicher Faktor bei der Standortauswahl. Hierbei muss geprüft werden, wieviel Fläche in der unmittelbaren Umgebung des Vertiports potentiell zur Verfügung steht, um zu bewerten, wieviel Entwicklungspotential bzw. Flächenreserve an diesem Standort vorhanden ist.

Alternativ sind natürlich grundsätzlich genügend Lande- und Parkmöglichkeiten am FKB durch eine mögliche Nutzung der luftseitigen Flugbetriebsflächen vorhanden. Hier ist jedoch zu beachten, dass ein regelmäßiger land-/luftseitiger Wechsel sowohl flugbetrieblich als auch abfertigungstechnisch problematisch sein kann. Hier müssten die Abläufe entsprechend abgestimmt und angepasst werden. Bei dieser Betrachtung wäre auch zu bewerten, ob die Vorteile eines landseitig angesiedelten Flugtaxibetriebs aufrechterhalten werden können und ob eine luftseitige Alternative für Ausnahmesituationen sinnvoll berücksichtigt werden kann.

Grundsätzlich ist hier noch deutlicher Klärungsbedarf mit den zukünftigen Betreibern von Flugtaxidiensten. Die geplante Flottenstärke, der Ausbau des Netzes von Start- und Landeplätzen in der Umgebung, das mögliche Einsatzspektrum der zukünftigen eVTOLs sowie detailliertere Angaben zu den geplanten operationellen Abläufen sind erforderlich um ein Gesamtszenario zu beschreiben. Diese Fragestellungen können im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie nicht abschließend beantwortet werden, dienen jedoch als Diskussionsgrundlage für weitere Planungen.

4.4.3 Anforderungen aus dem operativen Flugbetrieb

Die Stellplätze, aber auch die Parkpositionen müssen verschiedenen Anforderungen aus dem operativen Flugbetrieb genügen. Neben den in dieser Studie zu Grunde gelegten Vorschriften zum Betrieb eines Heliports, müssen natürlich die Besonderheiten eines elektrisch betriebenen Flugtaxis, eine sichere und zügige Abfertigung der Passagiere sowie Erfordernisse für den Arbeitsplatz der involvierten Mitarbeiter im regulären Flugbetrieb, aber auch in Ausnahmesituationen berücksichtigt werden.

Die bei der Betrachtung des Start- und Landeplatzes (Kapitel 4.3) angenommenen Maße und Gewichte des Fluggeräts sind natürlich auch Bemessungsgrundlage für die Peripherie, d. h. für die gesamte Auslegung des Vertiports. Dementsprechend ist mindestens eine Kreisfläche von 12 Metern Durchmesser für jeden Stellplatz und jede Parkposition zu berücksichtigen. Um einen reibungslosen Ablauf im Flugbetrieb zu ermöglichen, müssen alle Positionen unabhängig voneinander über entsprechende Rollwege erreichbar sein. Auch sollte ein denkbarer technischer Defekt eines einzelnen eVTOL (Aircraft On Ground: AOG) und die dann einzuleitenden Maßnahmen zur Räumung der entsprechenden Fläche bei der Planung mit betrachtet werden.

Für die Traglasten der Rollwege, Stellplätze und Parkpositionen sind sowohl der statische Lastfall (Gewicht des LFZ) von 3,5 Tonnen, als auch der dynamische Lastfall mit dem Faktor 2,5 anzunehmen. Der dynamische Lastfall ergibt sich hier aus der Annahme, dass ein eVTOL nicht mit einem

Radfahrwerk, sondern mit Landekufen ausgestattet sein kann und die Positionen dann über die Rollwege im Schwebeflug mit abschließender Landung erreicht werden müssen.

Auch hier zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen einigen eVTOL-Konzepten, welche sich in den Musterzulassungen der Fluggeräte, in den Flugbetriebsgenehmigungen und ggf. in operationellen Auflagen für den Betreiber widerspiegeln werden.

Die genauen Positionierungen, Rollwegverläufe und Abstände können in dieser Machbarkeitsstudie nicht detailliert beschrieben werden und müssen für den gesamten Vertiport in weiteren Planungsschritten, angepasst an das betriebliche Gesamtkonzept, ausgearbeitet werden. Erforderliche Markierungen und Befeuerungen, sowie eine ausreichende Ausleuchtung der Flächen sind entsprechend Anhang C vorzusehen. Weiterhin müssen je nach Einsehbarkeit des Vertiports, ggf. zusätzliche technische Überwachungseinrichtungen wie Kameras oder Lagedarstellungssysteme bei der Planung berücksichtigt werden, um eine Kontrolle der Betriebsabläufe gewährleisten zu können.

Eine der entscheidendsten Anforderungen an einen Vertiport mit elektrisch betriebenen Fluggeräten ist eine ausreichende Stromversorgung über entsprechende Ladestationen. Auch hier sind noch keine einheitlichen Standards definiert und die Entwickler der eVTOLs verfolgen teilweise sehr unterschiedliche Konzepte. In der vorliegenden Studie wird von einer Ladestation pro Stellplatz ausgegangen, welche ähnlich wie bei elektrisch betriebenen Kraftfahrzeugen über ein Kabel und eine Steckverbindung an das LFZ angeschlossen wird. Für Systeme, bei denen bei der Abfertigung ein Batteriewechsel erforderlich ist, müssten in Abstimmung mit dem Flugtaxibetreiber andere dementsprechende infrastrukturelle Vorkehrungen getroffen werden.

Wie bei der Berechnung der Anzahl erforderlicher Stellplätze beschrieben (Kapitel 4.4.1), wird davon ausgegangen, dass die gesamte Abfertigung parallel zu einer mit 30 Minuten angenommenen Ladezeit stattfinden kann. Diese Annahme hat erheblichen Einfluss auf die Berechnung und damit auf die Dimensionierung des gesamten Vertiports. Längere Ladezeiten würden die Anzahl der erforderlichen Stellplätze mit Ladestromversorgung und damit die Investitionskosten ggf. signifikant erhöhen. Um Ladezeiten dieser Größenordnung erreichen zu können, wird von einer erforderlichen Ladeleistung von 500 kW pro Ladestation ausgegangen. Für die berechnete Anzahl von 5 Stellplätzen ergibt sich daraus eine erforderliche Gesamtleistung von 2,5 MW für den Vertiport an der FKB.

Je nach Anordnung der Stellplätze und Parkpositionen muss darauf geachtet werden, dass die Ladestationen kein Hindernis bei den Rollbewegungen darstellen und deren Positionierung im Zusammenhang mit einer sicheren Wegeführung für die Passagiere sowie weiteren ggf. erforderlichen Bodengeräten geplant werden sollte.

Zum Verzurren der LFZ sollten ausreichend dimensionierte Bodenanker in geeigneter Zahl und Positionierung vorgesehen werden.

Auch wenn an einem Vertiport auf der Landseite keine Luftsicherheitskontrolle nach § 8 LuftSiG erforderlich ist, so muss der Zugang zum LFZ doch aus anderen sicherheitsrelevanten Gründen

kontrolliert erfolgen. Zunächst muss in geeigneter Weise die Anzahl und das Gewicht von Passagieren und Gepäckstücken erfasst werden, um den Beladungszustand des Flugtaxi für jeden einzelnen Flug ermitteln zu können. Den Passagieren darf nur Zugang zum LFZ gewährt werden, wenn sichergestellt ist, dass der laufende Flugbetrieb am Vertiport nicht behindert oder gefährdet wird. Ein korrektes Verhalten ist allen Passagiere und insbesondere Kindern vor dem Betreten eines idealerweise baulich abgegrenzten Sicherheitsbereichs zu vermitteln. Auch hier sind LFZ-spezifische Gefahrenquellen zu berücksichtigen. Ein reibungsloser Ablauf ist von dem Betreiber durch geeignete Sicherheitsmaßnahmen und entsprechende Aufsicht sicherzustellen.

Je nach Flottenstärke und Häufigkeit der Flugbewegungen erscheint es notwendig, neben den Piloten auch Bodenpersonal zur Sicherstellung der beschriebenen Abläufe einzusetzen. Aufgaben bei Passagierbetreuung, technische Abfertigung und Koordination des Flugbetriebs am Vertiport müssen während der Betriebszeiten ausgeführt bzw. sichergestellt werden. Damit ergeben sich infrastrukturelle Anforderungen aus dem Gesundheitsschutz und den Arbeitsstättenrichtlinien z. B. bzgl. einzuhaltender Pausenzeiten sowie der Verfügbarkeit von Aufenthaltsräumen und Toiletten für das Personal.

In Schlechtwetterphasen mit starken Winden oder Niederschlägen müssen Vorkehrungen zur Sicherung der Fluggeräte und zum Schutz von Passagieren und Personal getroffen werden können. Die erforderlichen Maßnahmen und Verfahrensanweisungen sind mit dem Betreiber abzustimmen und bzgl. eventueller infrastruktureller Voraussetzungen zu prüfen. Weiterhin ist zu prüfen, welche infrastrukturellen Anforderungen berücksichtigt werden müssen, um den Betrieb bei starkem Schneefall und unter Vereisungsbedingungen aufrecht erhalten zu können. Es ist zu klären, ob bei den Verfahren zur Enteisung der Betriebsflächen und des Fluggeräts, Zufahrten für entsprechende Einsatzfahrzeuge erforderlich sind.

Die Verfügbarkeit einer oder mehrerer Zufahrten, ist weiterhin ein entscheidender Faktor bei der Erstellung von Notfallplänen. Für die Einhaltung der gesetzlich vorgegebenen Hilfsfristen für Rettungsdienste und Feuerwehren, machen kurze Rettungswege mit geeigneten Zufahrten ggf. einen deutlichen Unterschied. Bei der Planung eines Vertiports, sollten die entsprechenden Anforderungen rechtzeitig berücksichtigt werden.

Hinsichtlich der in den eVTOLs verbauten Lithium-Ionen-Batterien ist zu prüfen, ob bei einer eintretenden Brandbekämpfung eine besondere Ausrüstung der Feuerwehr erforderlich ist, die möglicherweise eine Zufahrtmöglichkeit auf den Vertiport erfordert.

4.5 Instandhaltungsstandorte

Die Instandhaltung gewerblich genutzter LFZ ist gemäß Anhang II der EU-Verordnung 1321/2014 (Part 145) reguliert und umfasst zeit-, flugstunden- oder flugzyklenabhängige Wartungsereignisse, die üblicherweise entsprechend den vorgesehenen Intervallen in Blöcke zusammengefasst werden.

Für jedes LFZ ist ein entsprechendes Instandhaltungsprogramm definiert und genehmigt. In einem LFZ-spezifischen Wartungshandbuch werden die Arbeitsumfänge und Intervalle für Wartungen, Reparaturen und Überholungen (MRO) verbindlich festgelegt. Im operativen Flugbetrieb wird zwischen Line Maintenance, Routinearbeiten, Non-Routinearbeiten und Modifikationen unterschieden, und die durchzuführenden Arbeiten werden dementsprechend an den dafür geeigneten bzw. infrastrukturell ausgestatteten Standorten geplant und durchgeführt.

In der vorliegenden Studie wird davon ausgegangen, dass lediglich die Line Maintenance an dem landseitigen Vertiport durchgeführt wird und alle anderen MRO-Aktivitäten in einer eVTOL-Basis des Betreibers, entweder über die luftseitige Flugbetriebsfläche erreichbar oder außerhalb des Flughafengeländes, irgendwo im Einzugsgebiet des Flughafens stattfinden werden.

Grundsätzlich sollte der für die Instandhaltung notwendige Flächenbedarf im Zusammenhang mit der im Kapitel 4.4.2 beschriebenen Flächenbedarf für die Parkpositionen betrachtet werden. Das Gesamtkonzept eines Flugtaxi-Betreibers, muss neben Angaben zu geplanten Ausweichlandemöglichkeiten und erforderlichen Parkpositionen, auch Auskunft über infrastrukturelle Erfordernisse für die Instandhaltung der LFZ-Flotte geben.

Daraus ergibt sich möglicherweise die Anforderung, eine für die Instandhaltung der Flugtaxis ausgelegte Basisstation auf dem Gelände des Flughafens anzusiedeln. Der Bedarf an Parkpositionen, Hallenplätzen und infrastruktureller Ausstattung wäre dann mit dem potentiellen Betreiber, basierend auf seinem Gesamtkonzept detailliert zu ermitteln. Neben dem Flächenbedarf für Fluggerät, Werkstattausrüstung und Personal ist hierbei insbesondere die erforderliche Stromversorgung bei den Planungen zu berücksichtigen. Weiterhin ist je nach Intensität des Flugbetriebs, Nutzungsgrad der Parkpositionen und Häufigkeit der geplanten Wartungsmaßnahmen, allgemein eine gute Erreichbarkeit sowie ein prozessual problemloser Übergang zum Sicherheitsbereich (Wechsel Land-/Luftseite) zu berücksichtigen.

Die heute von den eVTOL-Entwicklern veröffentlichten Betriebskonzepte, sind in der Regel noch nicht sehr detailliert und können auch spezifische lokale Gegebenheiten nicht berücksichtigen. Daher kann im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie noch keine genauere Planung zu Instandhaltungsstandorten dargestellt werden. Allerdings sollte die Entscheidung, einen Flugtaxi-Service am FKB zu etablieren, nur nach ausgiebiger Prüfung des Gesamtkonzepts für die erforderlichen Instandhaltungsmaßnahmen getroffen werden.

5 Bewertung potentieller Standorte

Im Folgenden sollen am Beispiel des Verkehrsflughafens Köln/Bonn mögliche Standorte für einen landseitigen Vertiport betrachtet und anhand der zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen und Annahmen mögliche Infrastruktureinrichtungen entwickelt werden.

5.1 Eingrenzung potentieller Standorte

Die erste Identifizierung der möglichen Standorte für die Entwicklung eines Flughafens auf der Landseite des FKB erfolgt auf Basis einer Luftaufnahme des Gebietes. Die Liste der identifizierten Standorte schließt andere mögliche Standorte für die zukünftige Entwicklung eines Vertiports nicht aus. Zum Zeitpunkt der Erstellung dieser Machbarkeitsstudie werden jedoch die in Abbildung 17 durch blaue Schattierung gekennzeichneten Flächen als die grundsätzlich geeignetsten für die Entwicklung eines Vertiports auf der Landseite des FKB angesehen. Die Standorte *P1*, *P2* und *P3*, die jeweils ein Parkhaus darstellen, würden die Errichtung eines Vertiports auf der Oberfläche der Dachebene des jeweiligen Parkhauses vorsehen. Das Busgelände, das den bestehenden Busbahnhof der FKB repräsentiert, würde den Bau eines Gebäudes auf dem Busbahnhof erfordern, das als Vertiport fungieren würde. Ein ähnlicher Bau müsste auf dem Standort Hotel errichtet werden, der ein derzeit am FKB im Bau befindliches Hotel darstellt. Am Standort *P5*, einer Parkfläche, die derzeit hauptsächlich Flughafenmitarbeitern genutzt wird, könnte ein Vertiport direkt auf der bestehenden Fläche errichtet werden, oder auf einer Struktur, die auf dem bestehenden Parkplatz errichtet werden müsste.

Vor einer detaillierten Analyse der denkbaren Standorte für die Entwicklung eines möglichen Vertiports auf dem landseitigen Gelände des FKB, wird eine Vorauswahl auf Basis allgemeiner Anforderungen sowie der spezifischen Merkmale des FKB getroffen. Die in dieser Vorauswahlrunde ausgeschiedenen Standorte werden nicht weiter betrachtet. Die Gründe für den Ausschluss der einzelnen Standorte sind im Folgenden dargestellt. Die übrigen Standorte werden im Nachgang detailliert betrachtet.

Für die detaillierte Analyse der möglichen Standorte wird ein Vertiport für ein eVTOL mit 12 Metern größter Gesamtabmessung dimensioniert. Damit wird sichergestellt, dass alle in dieser Studie betrachteten eVTOLs an diesem Vertiport betrieben werden könnten. Es ist zu erwarten, dass aufgrund der zu erwartenden steigenden Nachfrage nach Flugtaxi-Dienstleistungen sowie der Weiterentwicklung der eVTOLs selbst, die eVTOLs in Zukunft an Größe zunehmen werden. Durch die Größenzunahme würden mehr Sitzplätze pro eVTOL zur Verfügung stehen, wodurch die Kapazität der Vertiport erhöht würde, um die Nachfrage nach Flugtaxidiensten zu befriedigen. Aus diesem Grund wird auch gezeigt, wie ein für einen eVTOL mit 15 Metern größter Gesamtabmessung dimensionierter Vertiport an den möglichen Standorten passen würde.



Abbildung 17: Potentielle Standorte für eine Flugtaxiinfrastruktur

5.2 Bewertung von möglichen Standorten

Die Anwendung jedes der in Kapitel 4.2 beschriebenen Kriterien auf die initial identifizierten möglichen Standorte am FKB ist in Tabelle 6 dargestellt. Zusätzlich zu allen allgemeinen Kriterien ist das letzte Kriterium in Tabelle 6 spezifisch für den Flughafen Köln/Bonn. Das eigentliche Ratingsystem ist in drei Kategorien unterteilt:

- **+ (3 Punkte):** das Kriterium ist zufriedenstellend erfüllt
- **0 (2 Punkte):** das Kriterium ist in begrenztem Umfang erfüllt
- **- (1 Punkte):** das Kriterium ist nicht zufriedenstellend erfüllt

Tabelle 6: Bewertung der potentiellen Standorte

Kriterien	P1	P2	P3	P5	Bus	Hotel
Passagierzugänglichkeit	+	+	-	-	+	0
Hindernisfreiheit	-	0	+	+	-	+
Lärmbelastung	-	0	+	+	0	-
Erweiterbarkeit	0	+	+	+	-	-
Umsetzbarkeit	-	0	+	0	-	-
Strategische Verfügbarkeit	-	0	0	-	+	+
Gesamt	9	14	15	13	11	11

Die Zuweisung einer Kategorie für jedes Kriterium erfolgt auf relativer Basis zwischen den Standorten, nicht auf einer absoluten Basis. Dies bedeutet, dass die einem bestimmten Standort zugewiesene Kategorie für ein bestimmtes Kriterium von der Leistung der anderen betrachteten Standorte auf der Grundlage desselben Kriteriums abhängig ist. Am Beispiel des Standortes am FKB, können die Kriterien wie folgt beschrieben werden:

- **Passagierzugänglichkeit:** der Standort muss für ankommende und abfliegende Fluggäste vom Terminal 1 und Terminal 2 leicht zugänglich sein. Eine häufig genutzte Kennzahl für dieses Kriterium ist der Durchschnitt der Fußwege zwischen den einzelnen Terminals und dem Standort.
- **Hindernisfreiheit:** der Standort muss so gelegen sein, dass seine Umgebung so frei von Hindernissen wie möglich ist. Eine häufig genutzte Metrik zur Quantifizierung dieses Kriteriums ist die Anzahl der Hindernisse, die den Betrieb von eVTOLs an jedem der Standorte möglicherweise behindern würden. Mögliche Hindernisse am Flughafen Köln/Bonn sind die Terminalgebäude, die Parkhäuser *P2* und *P3*, der Entlüftungsturm in der Mitte von Parkhaus *P1*, das im Bau befindliche Hotel sowie die Straße, die den Zugang zu den Abflugebene der beiden Terminals ermöglicht. Kleinere, relativ leicht zu beseitigende Hindernisse wie z.B. Beleuchtungsmasten werden nicht berücksichtigt.
- **Lärmbelastung der angrenzenden Nutzungen:** Der Standort ist so zu wählen, dass die Anzahl der Personen in unmittelbarer Nähe des jeweiligen Standorts, die durch den eVTOL-Betrieb gestört werden würden, möglichst gering ist. Dies schließt sowohl Personen ein, die in der Nähe des Vertiports arbeiten, als auch Kunden und Passagiere. Die lärmempfindlichsten Bereiche auf dem Gelände des Flughafens sind die Terminalgebäude und das zukünftige Hotel. Die Terminals sind der Arbeitsplatz vieler Menschen sowie ein Zu- und Abgangspunkt für Passagiere und Kunden, das Hotel ist sowohl Arbeitsplatz als auch Schlafplatz für die Kunden, weshalb es auch als lärmempfindlich gewertet wird. Basierend auf der zuvor formulierten Annahme, dass es keine

Haupt-An- und Abflugrouten gibt und diese ohnehin nicht vom eigentlichen mikroskopischen Standort eines Vertiports am Flughafen abhängen ist der wahrnehmbare Lärm unabhängig vom gewählten Standort des Vertiports. Aus diesem Grund stellt dieses Kriterium nur die Lärmbelastung in unmittelbarer Nähe des Vertiports dar, wo die Emissionen von Start und Landung einwirken.

- **Erweiterbarkeit:** Das Gelände muss in der Nähe des Flughafens über Flächen verfügen, die durch den Bau zusätzlicher FATOs, Rollwege, Stellplätze und Parkpositionen für eine Erweiterung des Vertiports genutzt werden könnten.
- **Umsetzbarkeit:** Der zeitliche und finanzielle Aufwand für den Bau eines Vertiports an einem bestimmten Standort soll so gering wie möglich sein.
- **Strategische Verfügbarkeit:** Der Standort soll unter Berücksichtigung der strategischen Planungen der FKB GmbH für eine mögliche Entwicklung zur Verfügung stehen. Die FKB GmbH prüft derzeit Entwicklungsmöglichkeiten an mehreren Standorten für unterschiedliche Zwecke. Die Entwicklung eines Vertiports an einem dieser Standorte würde bedeuten, dass die derzeitigen Planungen entweder geändert oder völlig neu formuliert werden müssten.

5.3 Ausgeschlossene Standorte

5.3.1 Parkhaus P1

Parkhaus P1 hat mit neun Punkten von allen betrachteten Standorten die schlechteste Bewertung. Dies ist vor allem auf die Nähe dieses Standortes zum Terminal 1 zurückzuführen, das auf drei Seiten an das Parkhaus P1 grenzt. Das Terminal 1 ist daher ein großes Hindernis für den eVTOL-Betrieb auf dem Parkhaus P1. Das Parkhaus P1 erhält im Kriterium Lärmbelastung die schlechteste Bewertung, da das angrenzende Terminal 1 sowohl Zu- und Abgangspunkt für viele Passagiere und Kunden, als auch Arbeitsplatz für eine Vielzahl von Mitarbeitern ist. Die schlechte Bewertung der Umsetzbarkeit, resultiert aus aktuellen Planungen, die Neubaumaßnahmen im Bereich des Parkhauses vorsehen. Eine erforderliche Koordination der Projekte würde eine Umsetzung des Vertiports wahrscheinlich verzögern. Daher erscheint eine Trennung sinnvoll. Das Flächenangebot von Parkhaus P1 reicht aus, um einen gewissen Ausbau des Vertiports zu ermöglichen, ist aber im Vergleich zu anderen betrachteten Standorten geringer, weshalb es im Kriterium Erweiterbarkeit eine mittlere Bewertung erhält. Aus diesen Gründen wird der Standort Parkhaus P1 von einer genaueren Analyse dieser Machbarkeitsstudie ausgeschlossen.

5.3.2 Mitarbeiterparkplatz *P5*

Der Parkplatz *P5* erreicht mit 13 Punkten eine mittlere Gesamtbewertung. Es handelt sich um eine relativ große Fläche mit einigem Abstand zu den Terminals oder einer anderen größeren Struktur. Hieraus resultiert die hohe Punktzahl in den Kriterien Hindernisfreiheit, Lärmbelastung und Erweiterbarkeit. Die Kriterien die der Parkplatz *P5* nicht erfüllt sind Passagierzugänglichkeit, Umsetzbarkeit und strategische Verfügbarkeit. Die Parkfläche *P5* ist es zusammen mit Parkhaus *P3* einer der am weitesten von den Flughafenterminals entfernten Standorte, weshalb er im Kriterium Passagierzugänglichkeit eine schlechte Bewertung erhält (1 Punkt). Die Umsetzbarkeit dieses Standorts hängt davon ab, ob der Vertiport auf der bestehenden Parkplatzfläche oder auf einer neuen Struktur, die sich über den Parkplatz erheben würde, errichtet werden soll. Eine erhöhte Struktur hat den Vorteil, dass die vielen Stellplätze auf dem Parkplatz erhalten werden könnten, die bei einer ebenerdigen Bebauung des Vertiports entfernt werden müssten. Allerdings würde ein Hochbau wesentlich länger dauern und teurer sein. Aufgrund dieser Unklarheit erhält der Parkplatz *P5* 2 Punkte im Umsetzbarkeitskriterium. Im Hinblick auf die strategische Verfügbarkeit ist der Parkplatz *P5* potenzieller Standort für die Entwicklung weiterer Projekte an der Grenze zwischen Land- und Luftseite. Aus diesen Gründen erhält der Parkplatz *P5* eine niedrige Punktzahl im strategischen Verfügbarkeitskriterium.

5.3.3 *Busbahnhof*

Die Entwicklung eines Vertiports auf einem Bauwerk, das auf dem bestehenden Busbahnhof neben Terminal 2 errichtet würde, ist wahrscheinlich das komplexeste Projekt, das an einem der in Betracht gezogenen Standorte umgesetzt werden müsste. Hier müsste ein ganz neues Bauwerk errichtet werden, in das der komplette Vertiport inklusive FATO, Rollwegen und Standplätzen wie auch der bestehende Busbahnhof integriert werden müsste. Die möglichen Hindernisse für den eVTOL-Betrieb beim An- und Abflug, sind abhängig von der Höhe des Bauwerks, auf dem der Vertiport errichtet werden würde. Wahrscheinlich sind Terminal 2, das Parkhaus *P2* und die aufgeständerte Terminalvorfahrt als Hindernisse zu werten. Darüber hinaus wird aufgrund des hohen finanziellen Aufwands für den Aufbau einer solchen Infrastruktur davon ausgegangen, dass das Projekt so dimensioniert wird, dass es genau auf den Vertiport passt. Aus diesen Gründen erhält der Standort *Busbahnhof* bei den Kriterien Hindernisfreiheit, Erweiterbarkeit und Umsetzbarkeit eine schlechte Bewertung. Das andere Kriterium, bei dem der Standort *Busbahnhof* nicht die volle Punktzahl erhält, ist Lärmbelastung, da er direkt neben Terminal 2 und über dem Busbahnhof liegt, sodass eine erhebliche Anzahl von Passagieren betroffen wäre. Die Summe der Punkte des Standortes *Busbahnhof* beträgt nur 11 Punkte, weshalb eine weitere Betrachtung im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie nicht erfolgt.

5.3.4 Hotel

Der Standort des *Hotels* befindet sich zwischen der aufgeständerten Terminalvorfahrt, dem Parkhaus *P2* und dem ICE-Bahnhofsgebäude. Dort wird derzeit ein neues Hotel gebaut. Es belegt einen mittleren Platz in der Rangliste aller betrachteten Standorte. Obwohl es nicht so weit von den Terminalgebäuden entfernt liegt wie das Parkhaus *P3* oder der Parkplatz *P5*, ist es weiter von den Terminals entfernt als das Parkhaus *P1* oder das Parkhaus *P2*. Daher werden im Kriterium Passagierzugänglichkeit nur zwei Punkte vergeben. Es ist davon auszugehen, dass ein auf dem Dach des Hotels errichteter Vertiport für die Hotelkunden, auch wenn ein Betrieb lediglich in den Tagesstunden stattfinden würde, eine erhebliche Störung darstellen würde. Aus diesem Grund erhält der Standort in Bezug auf die Lärmbelästigung nur einen Punkt. Hinsichtlich der Erweiterbarkeit ist der Standort auch als ungeeignet zu bewerten. Die für eine Erweiterung eines Vertiports auf dem Hotel zur Verfügung stehende Fläche ist extrem begrenzt. Da sich das Hotel derzeit bereits in Umsetzung befindet ist eine nachträgliche Integration eines Vertiports äußerst umständlich, was sich in einer schlechten Beurteilung der Umsetzbarkeit niederschlägt.

5.4 Favorisierte Standorte

5.4.1 Parkhaus *P2*

Das Parkhaus *P2* befindet sich direkt am Terminal 2 und erhielt mit 14 Punkten die zweitbeste Punktzahl in Tabelle 6. Es befindet sich in Laufnähe sowohl zum Terminal 1 als auch zum Terminal 2 und verfügt über eine bedeutende Fläche, die für die Entwicklung eines Vertiports genutzt werden könnte, und erhielt die beste Bewertung in der Passagierzugänglichkeit und Erweiterbarkeit (3 Punkte). In allen anderen Kriterien erhält Parkhaus *P2* die mittlere Punktzahl (2 Punkte). Aufgrund seiner Nähe zu den Terminals gibt es mehrere Hindernisse, die den eVTOL-Betrieb behindern können, und sowohl die Passagiere als auch die Mitarbeiter können durch die während des Betriebs entstehenden Lärm gestört werden (Hindernisfreiheit und Lärmbelastung). Die Struktur von Parkhaus *P2* befindet sich derzeit in einem relativ schlechten Zustand. Aus diesem Grund wäre eine Kernsanierung der Struktur erforderlich, bevor ein Vertiport am Standort entwickelt werden könnte (Umsetzbarkeit). Während des Kernsanierungsprozesses sollte auch sichergestellt werden, dass die Struktur alle Lasten, die durch den eVTOL-Betrieb auftreten, aufnehmen kann. Parkhaus *P2* ist derzeit für die FKB GmbH wertvoll. Seine Dachebene bietet eine beträchtliche Menge an Parkplätzen, die eine bedeutende Einnahmequelle darstellt (Strategische Verfügbarkeit). Obwohl Parkhaus *P2* bei vielen Kriterien nicht die maximale Punktzahl erhält, ist es eine sehr praktikable Option für die Entwicklung eines Vertiports, dessen Hauptvorteil die Nähe zu beiden Terminals ist.

5.4.2 Parkhaus *P3*

Parkhaus *P3* ist der am besten bewertete Standort mit insgesamt 15 Punkten (einer mehr als Parkhaus *P2*). Es hat die beste Bewertung in allen Kriterien, außer der Passagierzugänglichkeit und der strategischen Verfügbarkeit. Zusammen mit Parkplatz *P5* ist es der am weitesten von den Flughafenentterminals entfernte Standort. Die Entfernung zwischen Parkhaus *P3* und den Terminals verringert die Attraktivität eines Flugtaxi-Service, der am FKB angeboten würde, erheblich, da die Wegzeit aufgrund der zusätzlichen Entfernung, die zurückgelegt werden müsste, erheblich zunimmt. Obwohl Parkhaus *P3* von beiden Terminals aus zu Fuß erreichbar ist (ca. 10 Minuten), müsste ein Shuttle-Dienst angeboten werden, um den Flugtaxi-Service barrierefrei zu gestalten. Hinsichtlich des strategischen Verfügbarkeitskriteriums ist die Dachebene von Parkhaus *P3* derzeit eine Einnahmequelle für die FKB GmbH (ebenso wie Parkhaus *P2*), für die dieser Standort in diesem Kriterium die mittlere Punktzahl erhält. In allen anderen Kriterien erhält Parkhaus *P3* die maximale Punktzahl. Aufgrund der Entfernung zu den großen Infrastrukturen des Flughafens ist der Betrieb von eVTOLs an diesem Standort relativ ungehindert möglich, und die Zahl der durch Lärm gestörten Personen ist ebenfalls relativ gering. Die am Parkhaus *P3* zur Verfügung stehende Fläche ist beträchtlich, wofür die Erweiterung eines Vertiports an diesem Standort kein Problem darstellt. Schließlich befindet sich die Struktur des Parkhaus *P3* in einem relativ guten Zustand. Bevor mit dem Bau eines Vertiports an dieser Stelle begonnen wird, muss lediglich geprüft werden, ob die Belastungen, die der Struktur durch den Betrieb von eVTOLs auferlegt werden, aufgenommen werden können.

5.5 Beispielhafte Dimensionierung an den favorisierten Standorten

5.5.1 Parkhaus *P2*

Das Parkhaus *P2* ist baulich in vier unterschiedliche große Abschnitte unterteilt, die in dieser Machbarkeitsstudie gemäß Abbildung 18 nummeriert sind. Es wird geprüft welcher Abschnitt die Mindestanforderungen an Flächengröße erfüllt um mindestens fünf Stellplätze und eine FATO aufnehmen können. Erfüllt ein Segment die Anforderungen, so ist davon auszugehen, dass die nächstgrößeren Segmente auch dafür geeignet wären einen derartigen Vertiport aufzunehmen. Daher erfolgt eine detaillierte Betrachtung nur für das kleinstmögliche Segment, auf dem ein den Anforderungen entsprechender Vertiport errichtet werden könnte.



Abbildung 18: Abschnitte von Parkhaus P2

5.5.1.1 Parkhaus P2 Abschnitt 1

Abschnitt 1 ist das kleinste Parkhaussegment. Abbildung 19 zeigt ein Beispiel für eine mögliche Nutzung der Fläche. Eine Positionierung von einer Start- und Landefläche und fünf Stellplätzen ist nur durch eine Überlappung der Sicherheitsflächen möglich. Die möglichen Richtungen, für die die Endanflugs- und Startmanöver von eVTOLs, sind in einer derartigen Anordnung aufgrund der Lage der Stellplätze um die FATO herum reduziert. Eine Unabhängigkeit der Stellplätze ist zudem nur bei zwei der fünf Stellplätze realisierbar. Dies schränkt die Flexibilität, mit der diese Stellplätze genutzt werden könnten, erheblich ein, was letztlich zu einer Verringerung der Kapazität führt. Schließlich ist die Restfläche, die für die zusätzlich benötigten Nebenflächen wie zum Beispiel die erforderlichen technischen Einrichtungen oder die Passagierabfertigung zur Verfügung steht nicht hinreichend. Aus diesen Gründen ist eine Realisierung eines Vertiports entsprechend der zuvor für diese Studie aufgestellten Mindestanforderungen auf dem Parkhaussegment 1 nicht möglich. Daher erfolgt keine weitergehende Betrachtung des Parkhaussegmentes und auch keine Überprüfung der Höhensituation.

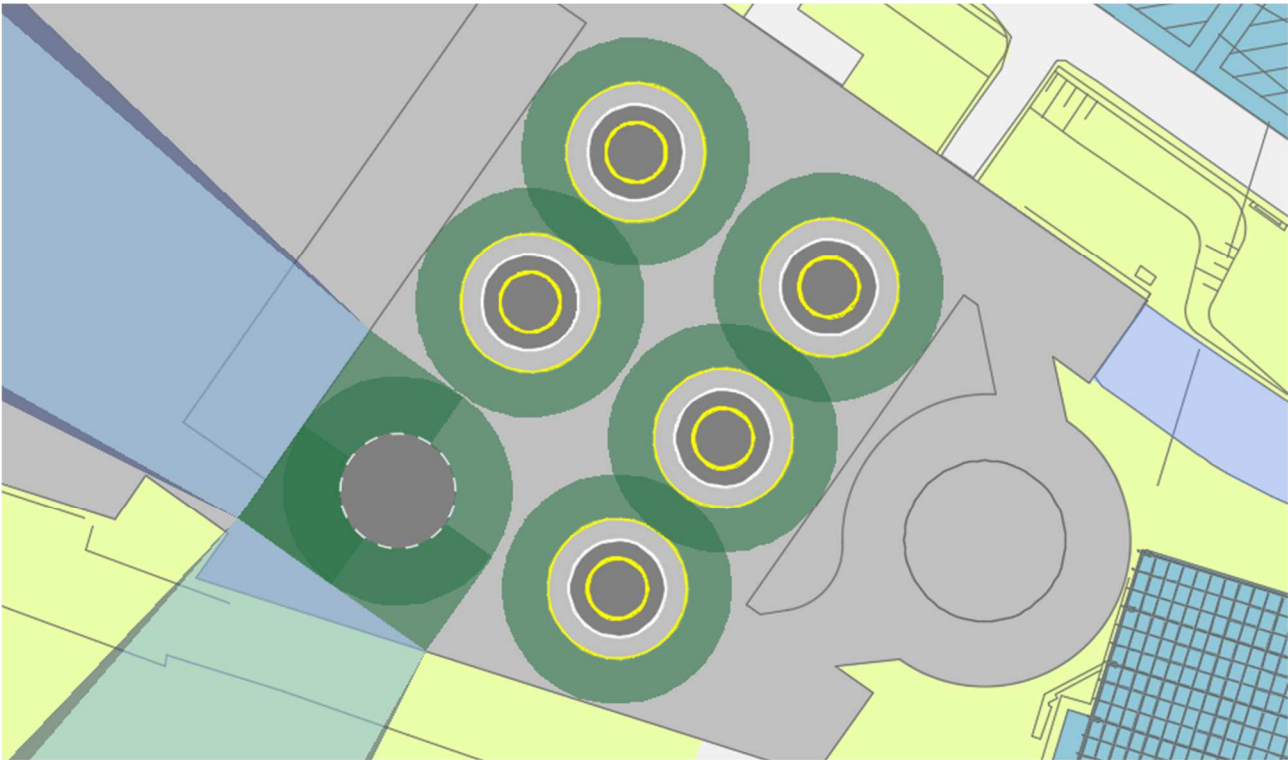


Abbildung 19: Beispiel einer Vertiport-Konfiguration auf Parkhaus P2 Abschnitt 1

5.5.1.2 Parkhaus P2 Abschnitt 2

Verschiedene beispielhafte Konfigurationen eines Vertiports im zweiten Abschnitt von Parkhaus P2 sind in Anhang D dargestellt. Auf diesem Abschnitt ist es möglich eine FATO mit sechs Stellplätzen anzuordnen. Hierdurch stünde ein zusätzlicher Stellplatz zur Verfügung. Auf der Fläche ist neben der erhöhten Anzahl an Stellplätzen noch ausreichend Restfläche für die erforderlichen Nebenanlagen vorhanden. Da die Einrichtung eines den Mindestanforderungen entsprechenden Vertiports im zweiten Abschnitt möglich ist, sollen die Abschnitte drei und vier nicht separat betrachtet werden. Es ist davon auszugehen, dass die erforderliche Struktur auch hier eingerichtet werden könnte.

Auch eine Berücksichtigung von zukünftig denkbaren Entwicklungen wie zum Beispiel der Zunahme der Größe der Fluggeräte könnte auf dem zweiten Parkhaussegment, mit einer Reduktion der Stellplätze, realisiert werden. In Anhang D ist eine entsprechende Konfiguration eines Vertiports, für eVTOLs mit maximal 15 Metern Gesamtabmessung dargestellt.

5.5.2 Parkhaus P3

Wie P2 ist auch P3 in verschiedene Abschnitte unterteilt, die in dieser Machbarkeitsstudie gemäß Abbildung 20 nummeriert sind. Alle Abschnitte in P3 haben ungefähr die gleiche Fläche, für die der anfängliche Bau eines Vertiports an jedem der Abschnitte stattfinden könnte (die beiden übrigen

Abschnitte sind die verfügbare Fläche, um den Vertiport schließlich zu erweitern). In dieser Machbarkeitsstudie wird der Bau eines ersten Vertiports in Abschnitt 1 weiter geprüft. Verschiedene Konfigurationen von *FATO* und Stellplätze in Abschnitt 1 sind in Anhang D für einen Vertiport zu sehen (sowohl für 12 als auch für 15 Meter größte Gesamtabmessung). Bei der 12-Meter-Variante ist genügend Platz für mindestens 6 Stellplätze vorhanden. Die verfügbare Fläche wird auch als ausreichend angesehen, um die für die Abfertigung der Passagiere erforderliche Infrastruktur sowie die Ausrüstung für *line maintenance* und *turn-around* aufzunehmen.



Abbildung 20: Abschnitte von Parkhaus P3

5.5.3 Hindernisbetrachtung für die betrachteten Standorte

Für die Umsetzung eines Vertiports ist nicht nur die Verfügbarkeit der Fläche für die Einrichtung der bodengebundenen Infrastrukturanlagen von Bedeutung. Auch eine Betrachtung der Hindernissituation um den Vertiport ist notwendig. Die für einen Vertiport auf einem der Parkhäuser potentiell relevanten Hindernisse am FKB sind in Abbildung 21 dargestellt. Dies schließt alle Infrastrukturen ein, die höher sind als die betrachteten Vertiportstandorte.

Für die Beurteilung der Hindernisfreiheit des Vertiports werden im Rahmen dieser technischen Machbarkeitsstudie erneut die Regelungen für Helikopterlandeplätze adaptiert. Angelehnt an die ICAO Annex 14 soll für den Betrieb eines Start- und Landeplatzes für eVTOLs eine Hindernisbegrenzungsfläche entsprechend der *Slope Design Kategorie A*, also derjenigen Kategorie mit der geringsten Steigung der Hindernisbegrenzungsflächen, angenommen werden. Dies entspricht für

die Hindernisbegrenzungsflächen in dieser Studie einer Steigung von 4,5%. Mit dieser Annahme kann berechnet werden, welche Infrastrukturen ein Hindernis für den Betrieb von eVTOLs darstellen könnten.

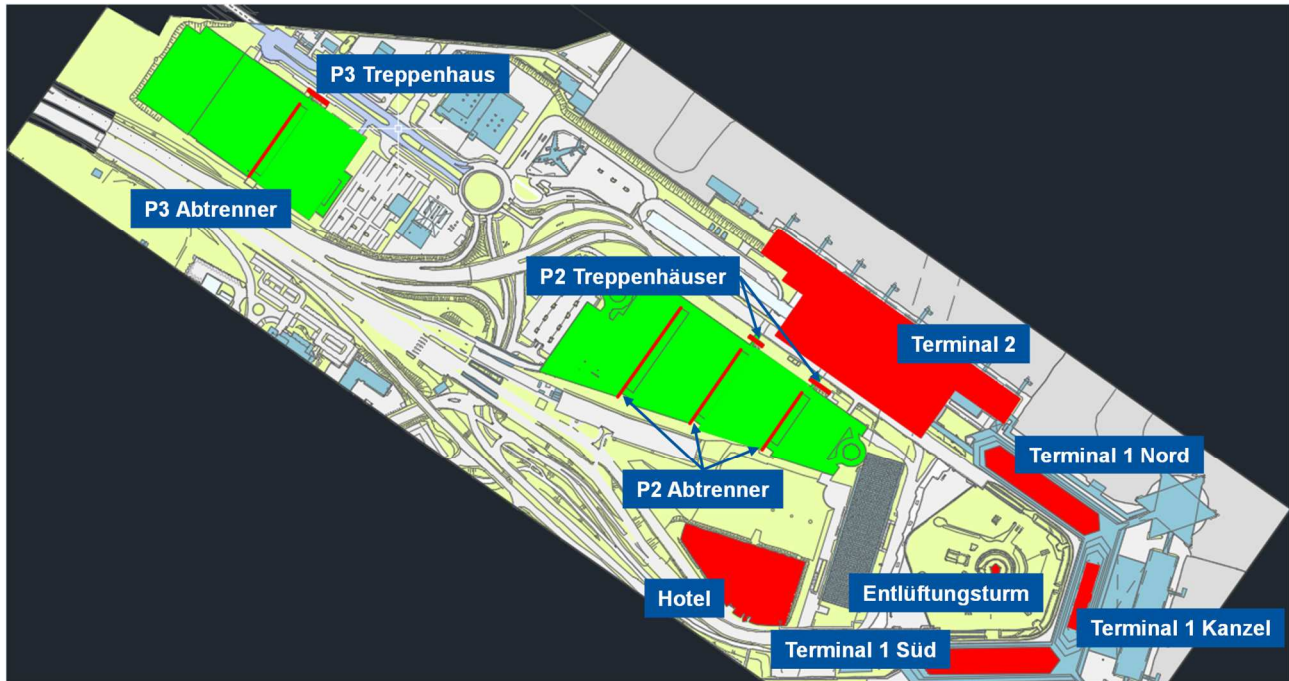


Abbildung 21: Mögliche Hindernisse für einen Vertiport am Flughafen Köln/Bonn

Da eine genaue Lage der Start- und Landefläche erst im Rahmen einer realen Planung festgelegt würde, wird für die Betrachtung der Hindernisse immer ein Bereich angenommen. Dieser stellt, in Abhängigkeit von möglichen Positionierungen der Start und Landefläche die Extrema der Abstände, als den theoretisch kürzesten und den theoretisch weitesten Abstand dar. Die tabellarischen Darstellungen hierzu sind im Anhang D.

In den Abbildungen 22 und 23 sind die Hindernisfläche und die Bezugshöhen und Distanzen der möglichen Hindernisse dargestellt. Ist eine Linie vollständig unterhalb der dargestellten Hindernisfreifläche, ist die bauliche Struktur unabhängig von der spezifischen Lage der Start- und Landefläche nicht als Hindernis zu werten. Ist die gesamte Linie über der dargestellten Hindernisfläche, stellt die bauliche Struktur unabhängig von der genauen Lage der Start- und Landefläche immer ein Hindernis für den Vertiport dar. Linien die über die Hindernisbegrenzungsfläche gehen stellen bauliche Strukturen dar, die abhängig von der genauen Lage der Start und Landefläche als Hindernis zu werten sind oder nicht. Hier lässt sich durch eine geeignete Wahl der Position der Start- und Landefläche die Hindernissituation optimieren.

5.5.3.1 Hindernisse Parkhaus P2 Abschnitt 2

Das Parkhaus *P2* hat eine Höhe von 72,6 Metern. Alle möglichen Hindernisse für den Betrieb von eVTOLs an einem Vertiport, der sich auf Abschnitt 2 vom Parkhaus *P2* befindet, sind in Abbildung 22 zu sehen und im Anhang D aufgeführt. Aus den Ergebnissen der Berechnung ist zu schließen, dass die Hindernisbegrenzungsflächen eines Vertiports in Abschnitt 2 von Parkhaus *P2* höchstwahrscheinlich die Infrastrukturen von Terminal 2, Terminal 1, Hotel sowie den Entlüftungsturm umgehen müssten. Die Abtrenner von Parkhaus *P2* müssten entfernt werden, ebenso wie einige kleinere Infrastrukturen wie z.B. die Beleuchtungsmasten.

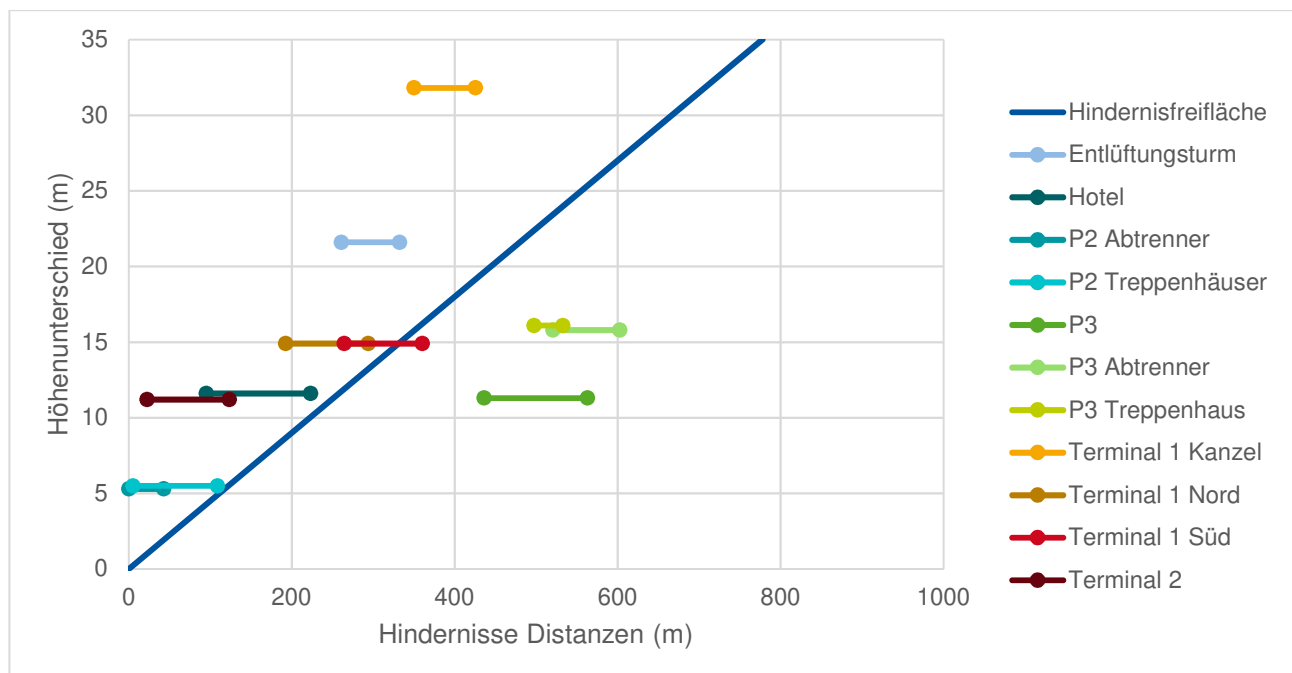


Abbildung 22: Hindernisanalyse für Parkhaus *P2* Abschnitt 2

5.5.3.2 Hindernisse Parkhaus P3 Abschnitt 1

Aufgrund der höheren Lage von *P3*, 83,9 Meter, gibt es an diesem Standort weniger mögliche Hindernisse. Die Ergebnisse sind in Abbildung 23 zu sehen und im Anhang D aufgeführt. Der Abtrenner und das Treppenhaus sind die einzigen größeren Hindernisse, die bei der Festlegung von Hindernisbegrenzungsflächen für einen in Abschnitt 1 gelegenen Vertiport entfernt oder vermieden werden müssten (mit Ausnahme leichterer Infrastruktur wie z.B. Lichtmasten).

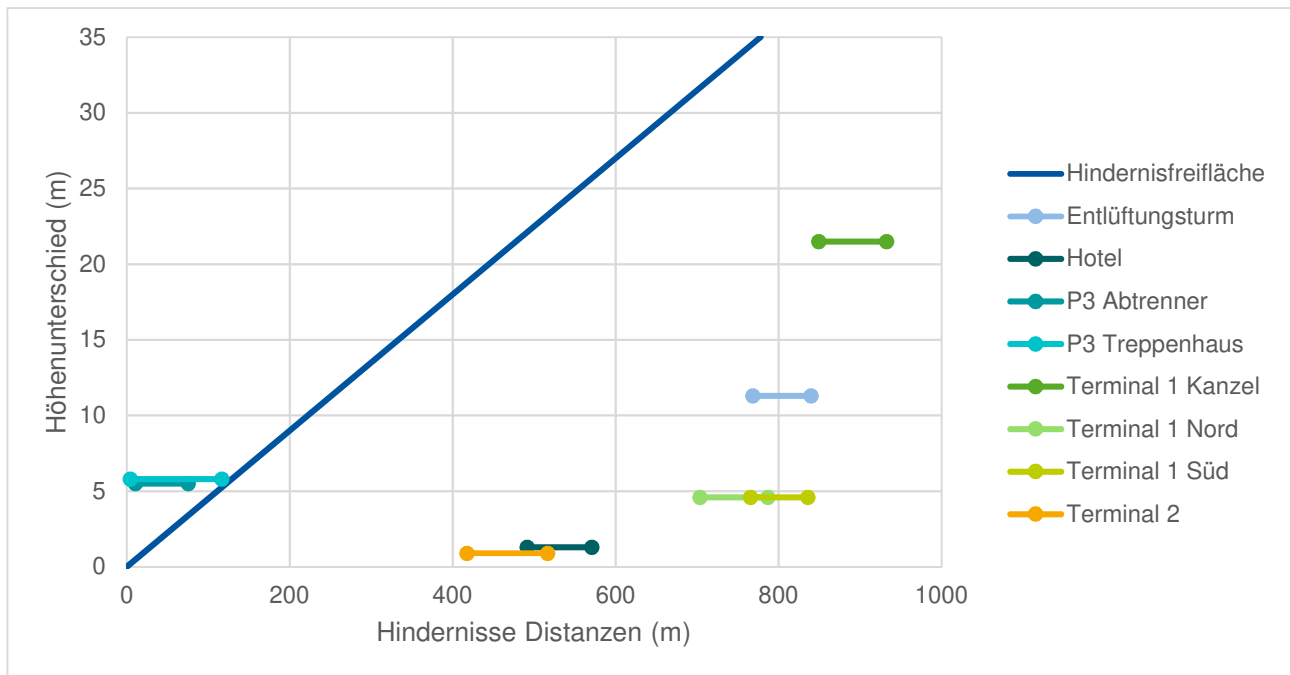


Abbildung 23: Hindernisanalyse für Parkhaus P3 Abschnitt 1

5.5.4 Vertiport Empfehlung

In Kapitel 5 wurden 6 mögliche Standorte für die Entwicklung eines Vertiports analysiert (Abbildung 17). Die Analyse konzentrierte sich auf 6 Kriterien: Passagierzugänglichkeit, Hindernisfreiheit, Lärmbelastung, Erweiterbarkeit, Umsetzbarkeit und strategische Verfügbarkeit. Zum Abschluss dieser Analyse wurde als derzeit bevorzugter Standort für die Entwicklung eines Vertiports bei der FKB der Abschnitt 2 des Parkhauses 2 genannt. Die Integration des Flugtaxi Service in das derzeitige Verkehrsnetz, ist für den Erfolg dieser Transportmethode von größter Bedeutung und beeinflusst sowohl die Akzeptanz als auch die Attraktivität für den Kunden eines solchen Dienstes. Aus diesem Grund wird die Nähe von P2 zu den beiden Flughafenterminals als ein großer Vorteil gegenüber dem Standort P3 angesehen, der durchschnittlich 10 Minuten Fußweg zur Gesamtreisezeit hinzufügt. Da Abschnitt 1 von P2 zu klein für den Bau eines Vertiports ist, wie in Kapitel 5.5.1.1 abschließend festgestellt wird, ist der bevorzugte Abschnitt von P2 für den Bau eines Vertiports Abschnitt 2. Es gibt keine wesentlichen Unterschiede zwischen den einzelnen Abschnitten von P2. Da Abschnitt 2 der nächstgelegene Abschnitt zu den Flughafenterminals ist, in dem ein Transportterminal gebaut werden kann, ist er derzeit der bevorzugte Abschnitt. Die angrenzenden Abschnitte würden dann als Flächen für eine mögliche Erweiterung des Vertiports dienen, falls dies erforderlich sein sollte.

Abbildung 24 zeigt einen Vertiport mit der Konfiguration zwischen FATO und den Stellplätzen, die für den Abschnitt 2 von P2 als die optimalste angesehen wird. Der Vertiport ist für ein eVTOL mit 12 Metern größter Gesamtabmessung dimensioniert. Die FATO ist auf der den Terminals und schließ-

lich den Stellplätzen gegenüberliegenden Seite platziert, was die Nähe zwischen den eVTOL-Flugwegen und Stellplätzen sowie den Passagieren minimiert. Für diese Konfiguration könnten Hindernisbegrenzungsflächen sowohl für die nordwestliche als auch für die südöstliche Richtung (ca. 320° bzw. 140°) definiert werden, die dieselbe Ausrichtung wie die hauptsächlich genutzte Start- und Landebahn des Flughafens haben. Neben der Entfernung der Abtrenner an *P2* müsste die südöstliche Hindernisbegrenzungsfläche die Infrastrukturen des Terminals 1, des Towers und des Hotels umgehen (ausführbar durch die Einführung einer Wende zur Hindernisbegrenzungsfläche). Der in Abschnitt 2 verfügbare Platz gewährleistet auch, dass die Bewegung von Passagieren und eVTOLs sicher getrennt werden kann (in dieser Konfiguration würden sich die Passagiere entlang des Randes von Abschnitt 2 bewegen, um die Stellplätze zu erreichen).

Der in Abbildung 24 dargestellte Vertiport wird weiterhin für die Definition der betrieblichen Anforderungen an die Passagierabfertigung sowie für die Simulation des luft- und landseitigen Flugbetriebs in den Kapiteln 7 und 8 verwendet.

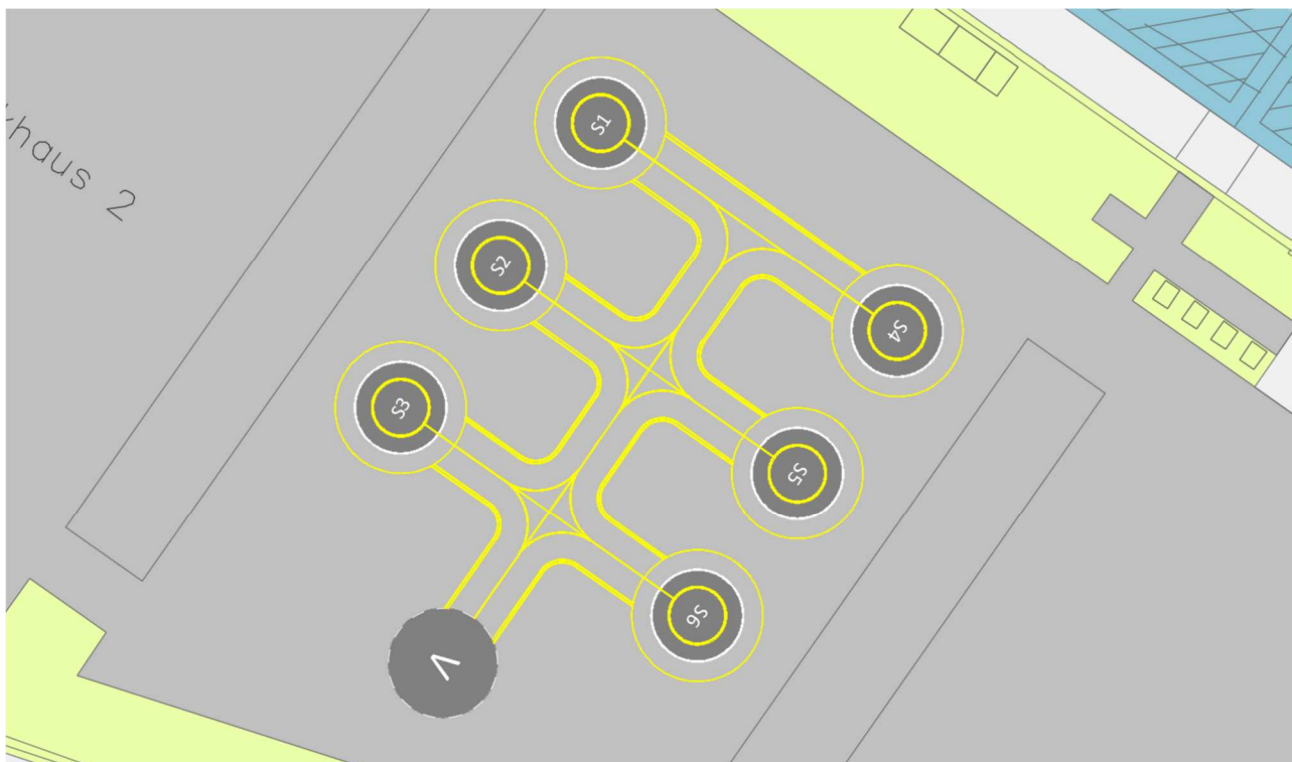


Abbildung 24: Favorisierte Vertiport-Konfiguration am Flughafen Köln/Bonn

6 Anforderungen an Luftraum und Flugbetrieb

6.1 Definition von An- und Abflugrouten

Wie eingangs erwähnt, ist es das Ziel einen möglichst flexiblen Flugtaxi-Service für die Passagiere zu ermöglichen und gleichzeitig der Flugsicherung Freiräume zur Separation bzw. Staffelung der Flugbewegungen zu geben. Daher bieten sich die bereits etablierten und im Luftfahrthandbuch (Aeronautical Information Publication: AIP) veröffentlichten VFR An- und Abflugverfahren über die entsprechenden VFR-Pflichtmeldepunkte an.

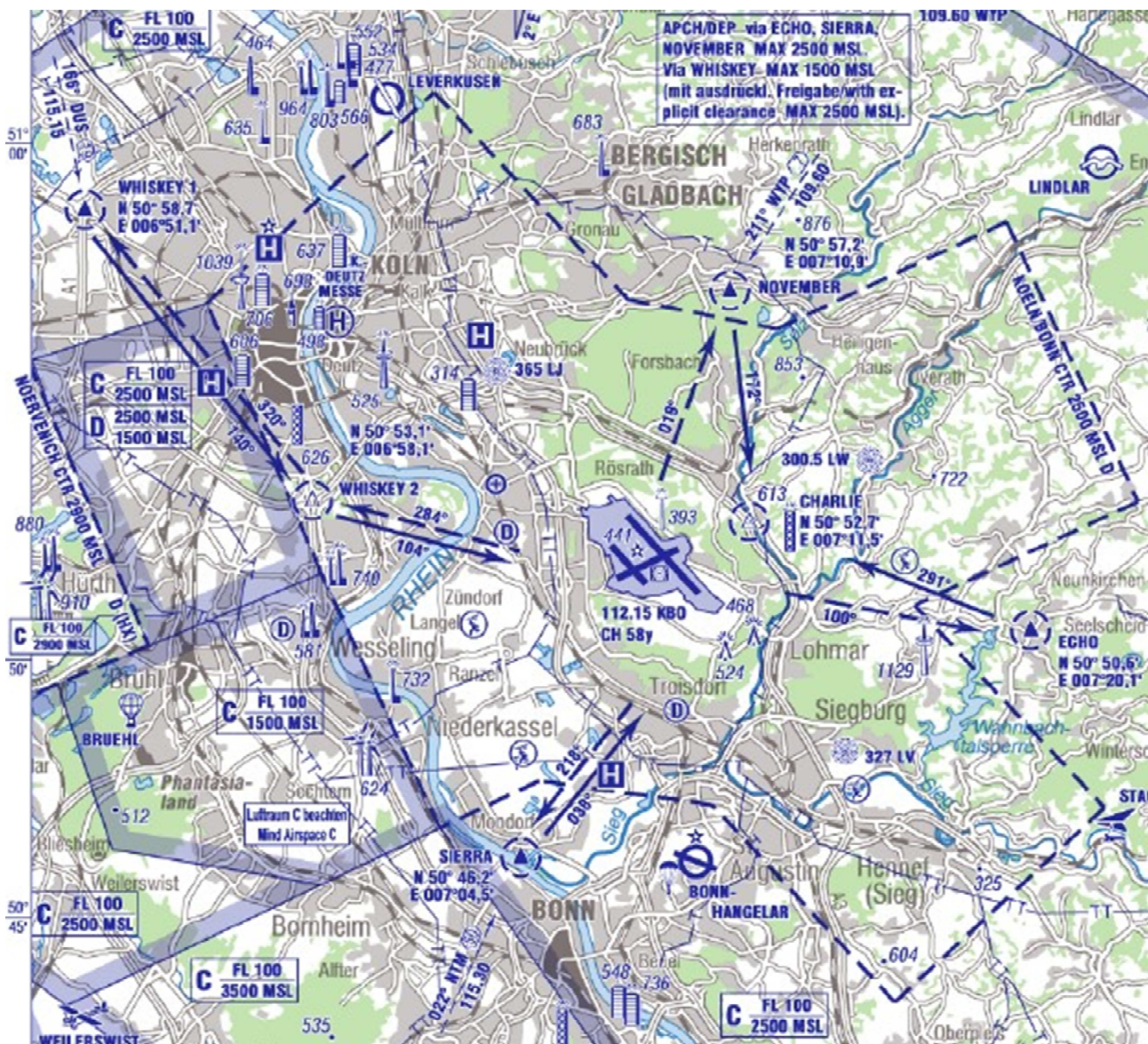


Abbildung 25: AIP Sichtenflugkarte Köln/Bonn EDDK

Grundsätzlich ist davon auszugehen, dass sich der kommerzielle Betrieb von Flugtaxis zunächst punktuell etabliert und sich dann bzgl. der Flottenstärke und verfügbarer Flugziele kontinuierlich weiterentwickeln wird. In der Anfangsphase ist es vorteilhaft möglichst auf etablierte Verfahren zurückzugreifen, um im operativen Betrieb erste Erfahrungen mit den neuartigen Fluggeräten und der Passagierabfertigung zu erlangen.

Ein Flugbetrieb mit lizenzierten Berufspiloten unter Sichtflugbedingungen soll es erlauben, nach einer anfänglichen Probephase die Anzahl der täglichen Flugbewegungen stetig zu erhöhen, die LFZ-Flotte entsprechend des Bedarfs zu vergrößern und die Passagierzahlen kontinuierlich zu steigern. Natürlich schränkt ein reiner VFR-Verkehr die Verfügbarkeit und Planbarkeit eines Flugtaxi-Dienstes durch die einzuhaltenden Wetterminima ein, aber die operativen Abläufe können etabliert und unter gut beherrschbaren Bedingungen erprobt werden.

Im Gegensatz zu speziell eingerichteten eVTOL-Korridoren, können bei den etablierten VFR-Verfahren die Flugrouten innerhalb der Kontrollzone flexibel gestaltet werden. Sowohl eine Staffelung der Flugtaxis untereinander, als auch die Einhaltung der notwendigen Distanzen zu anderem Verkehr, ist mit diesen Verfahren möglich. Weiterhin verteilen sich die von den Flugtaxis hervorgerufenen Geräuschemissionen entsprechend der variablen Flugrouten auf ein größeres Gebiet im Umland des FKB. Spezielle Korridore würden derartige Emissionen auf wenige Gebiete konzentrieren.

Grundsätzlich ist eine Abwicklung des Flugbetriebs über die Pflichtmeldepunkte und Standard-Flugwege innerhalb der Kontrollzone vorgesehen. Sollten bestimmte Destinationen und Abflugorte im urbanen System der unmittelbaren Umgebung des FKB (z. B. in den Innenstädten von Köln oder Bonn) geplant werden, oder sollten eVTOL-Betreiber aus operativen Gründen ein von den etablierten Standards abweichendes Flug- bzw. Höhenprofil nutzen wollen, so müssten entsprechende Verfahren mit der DFS geklärt und abgestimmt werden.

Bei den anzuwendenden Flughöhen innerhalb der Kontrollzone des FKB, ergibt sich eine Bandbreite aus den für den Sichtflugverkehr vorgeschriebenen Sicherheitsmindesthöhen und den in der Sichtanflugkarte ausgewiesenen maximalen An- und Abflughöhen, bezogen auf die VFR-Pflichtmeldepunkte:

Sicherheitsmindesthöhen

- Nach § 6 der Luftverkehr-Ordnung (LuftVO) bzw. Standardized European Rules of the Air (SERA) 3105.
- Dürfen nur unterschritten werden, soweit es bei Start- und Landung notwendig ist.
- Mindestens 300 m (1000 ft) über Städten, anderen dicht besiedeltem Gebieten, Industrieanlagen, Menschenansammlungen, Unglücksorten sowie Katastrophengebieten.
- Über dem höchsten Hindernis in einem Umkreis von 600 Metern.
- Mindestens 150 m (600 ft) über Grund oder Wasser in allen übrigen Fällen.

Maximale An- und Abflughöhen

- Ersichtlich in der AIP Sichtanflugkarte Köln/Bonn, bezogen auf die zum An- bzw. Abflug genutzten VFR-Pflichtmeldepunkte.
- Via ECHO, SIERRA und NOVEMBER max. 2500 ft MSL (Mean Sea Level).
- Via WHISKEY max. 1500 ft MSL (mit ausdrücklicher Freigabe max. 2500 ft MSL).

Beispielrechnung

- In der Sichtanflugkarte ist an der Stelle des geplanten Vertiports eine Höhe von 441 ft MSL (Höhe über dem Meeresspiegel) angegeben (Abbildung 25).
- Bei einem Überflug ohne Landeabsicht gilt eine Sicherheitsmindesthöhe von 1000 ft.
- Daraus ergibt sich eine minimale Flughöhe von 1441 ft MSL an dieser Stelle.
- Bei einem Überflug von SIERRA nach NOVEMBER gilt eine maximale Flughöhe von 2500 ft MSL in der Kontrollzone.
- Somit kann der Pilot den Vertiport in einem Höhenband von 1441 ft MSL bis 2500 ft MSL überfliegen.

Auch wenn die für den Flugtaxi-Betrieb vorgesehenen VFR-Verfahren grundsätzlich bereits etabliert sind, ergibt sich aus der erhöhten Anzahl der Flugbewegungen innerhalb der Kontrollzone eine signifikant komplexere Lage für die Flugsicherung. Die Fluglotsen müssen in dem berechneten Szenario während der Betriebszeiten bis zu 20 Flugbewegungen pro Stunde, d. h. alle 3 Minuten ein Flugtaxi zusätzlich zu dem heute am Flughafen etablierten Flugverkehr sicher abwickeln können.

Die DFS positioniert sich bei der Frage, welche Auswirkungen auf den bereits etablierten Flugverkehr erwartet werden, wie folgt (DFS Deutsche Flugsicherung GmbH 2020):

„[...] Der Betrieb der eVTOL generiert bereits in sich selbst zusätzliche Arbeitslast für den Lotsen und bindet damit Lotsenkapazität. Die Bindung ist abhängig von Quantität der eVTOL Flugbewegungen sowie der Komplexität der jeweils anzuwendenden Verfahren.

Im Zusammenwirken mit den übrigen Flugverkehren im Verantwortungsbereich des Lotsen ergeben sich weitere Arbeitsaufwände, die von den Wechselwirkungen der Verfahren eVTOL mit den übrigen an- und abfliegenden Luftfahrzeugen bzw. Flügen in der Kontrollzone ergeben.

Die Kapazitätseinschränkungen durch zusätzliche Arbeitslasten für den Lotsen selbst, ließen sich aber erforderlichenfalls durch die Einrichtung und Besetzung eines zusätzlichen Arbeitsplatzes kompensieren.

Die Verfahren im Betrieb der eVTOL führen aber nicht nur zu zusätzlichen Arbeitslasten, sondern auch fallabhängig zu Rückwirkungen auf Verfahren für den etablierten Flugverkehr. Da nach dem

Prinzip des first come, first served eine ausschließlich bevorzugte Behandlung der etablierten Verkehre nicht vorgesehen ist, kann sich z. B. bei Flugbetrieb der eVTOL in Instrument Meteorological Conditions (IMC) durch die anzuwendende Staffelung eine Reduzierung der Kapazität für den etablierten Flugverkehr ergeben. Diese Auswirkungen können durch geeignete Festlegung von Verfahren beeinflusst, aber erwartungsgemäß nicht verhindert werden.

Der Flughafen Köln/Bonn ist in Bezug auf die Flughafenkoordination ein Level 2 Flughafen. Bei Level 2 Flughäfen handelt es sich um Flughäfen, die lediglich zu bestimmten Tageszeiten oder an bestimmten Wochentagen oder in bestimmten Jahreszeiten zu Überlastungen neigen. An diesen sogenannten flugplanvermittelten Flughäfen können zeitweilig auftretende Überlastungen durch freiwillige Zusammenarbeit zwischen Luftfahrtunternehmen und Flughäfen bewältigt werden.

Demnach müsste ein Standort gefunden werden, der den Kriterien des Level 2 entspricht. Die kapazitiven Auswirkungen des neuen Luftverkehrsteilnehmers müssen berücksichtigt werden.

Dabei sind die staffelungsrelevanten Vorgänge zu berücksichtigen:

- VFR zu VFR (in Visual Meteorological Conditions: VMC)
- VFR zu IFR (in VMC)
- VFR zu VFR (in IMC)
- VFR zu IFR (in IMC)

[...]"

Die operationelle Kapazität eines Flughafens, bei der alle Flugbewegungen noch ohne nennenswerte Verzögerungen abgewickelt werden können, schwankt üblicherweise aufgrund von wechselnden Wetterlagen sowie in Abhängigkeit von Verspätungen, Verfrühungen, zusätzlichen Flügen und Streichungen in der bereits koordinierten Planung. Inwieweit zusätzliche Flugbewegungen durch den hochflexiblen Flugtaxi-Betrieb Auswirkungen auf den etablierten Flugverkehr haben, muss im Verlauf der weiteren Planungen durch eine detailliertere Kapazitätsanalyse bewertet werden.

Abschließend sei angemerkt, dass im Rahmen eines Genehmigungsverfahrens für die landseitig zu erweiternde Flugbetriebsfläche und den Betrieb eines Vertiports, die entsprechenden VFR-Karten sowie die betroffenen Luftfahrt-Publikationen, entsprechend angepasst und veröffentlicht werden müssten.

6.2 Definition von flugbetrieblichen Regularien und Prozeduren

Nach § 20 LuftVG bedürfen Luftfahrtunternehmen, die dem Luftverkehrsrecht der EU unterliegen, zur Beförderung von Fluggästen, Post oder Fracht im gewerblichen Flugverkehr einer Betriebsge-

nehmung. Um die öffentliche Sicherheit und Ordnung zu gewährleisten, werden u. a. die Zuverlässigkeit sowie die finanziellen Mittel des Antragstellers vor Erteilung der Genehmigung bewertet. Die Betriebsgenehmigung kann mit Nebenbestimmungen, d. h. mit Auflagen für den Betreiber des Flugtaxi-Dienstes versehen werden.

Nach *Air Operations Regulation der EU* (EU-OPS) (European Commission 2012) betreffen die Vorschriften und Bestimmungen für den Betreiber u. a. folgende Kategorien:

- Betriebszertifizierung und -überwachung
- Betriebsverfahren
- Allwetterbetrieb
- Allgemeine Leistung
- Leistungsklassen A, B und C
- Masse und Balance
- Instrumente und Ausrüstung
- Kommunikations- und Navigationsausrüstung
- Flugzeugwartung
- Flugpersonal
- Kabinenpersonal
- Handbücher, Protokolle und Aufzeichnungen
- Flug- und Dienstzeitbeschränkungen und Erholungsanforderungen
- Beförderung gefährlicher Güter auf dem Luftweg
- Sicherheit

Ggf. können Nebenbestimmungen und Auflagen in diesen Kategorien Einfluss auf den operativen Betrieb am Vertiport und auf die erforderliche Infrastruktur am FKB haben.

Eine Betriebsgenehmigung kann versagt werden, wenn Luftfahrzeuge verwendet werden sollen, die nicht in der deutschen Luftfahrzeugrolle eingetragen sind oder nicht im ausschließlichen Eigentum des Antragstellers stehen. Der deutschen Luftfahrzeugrolle gleichgestellt sind Eintragsregister von Staaten im Geltungsbereich des Luftverkehrsrechts der Europäischen Union (§ 20 LuftVG). Weiterhin lässt die räumliche Nähe des Flughafens zu den Benelux-Staaten je nach Reichweite der verwendeten LFZ einen grenzüberschreitenden Flugtaxiverkehr zu. Daher sollte die Betriebsgenehmigung eines potentiellen Flugtaxi-Betreibers am FKB, keine Einschränkungen durch die Registrierung der LFZ oder eines grenzüberschreitenden Flugverkehrs aufweisen.

Die anzuwendende Vorschriftenlage für die Musterzulassungen der eVTOL-Fluggeräte ist bei den zuständigen Zulassungsbehörden weltweit noch in Bearbeitung. In Europa basieren die Planungen und Zulassungskriterien der European Union Aviation Safety Agency (EASA) aktuell u. a. auf den *Certification Specifications* für leichte Motorflugzeuge (CS-23), für leichte Hubschrauber (CS-27), sowie auf der im Juli 2019 veröffentlichten *Special Condition* für leichte VTOL LFZ (SC-VTOL-01).

Unabhängig von den im Detail noch zu verifizierenden flugbetrieblichen Eigenschaften der eVTOLs und den daraus folgenden operativen Auflagen, kann aktuell von einem Flugbetrieb ähnlich dem von kommerziell betriebenen leichteren Hubschraubern ausgegangen werden. Lizenzierte Berufspiloten werden die Flugtaxis entsprechend der in der Betriebsgenehmigung des Betreibers definierten Regularien und Prozeduren fliegen. Auch Nebenbestimmungen und Auflagen zu den Betriebsverfahren, der bodenseitigen Abfertigung sowie zur Einhaltung sicherheitsrelevanter Maßnahmen werden in der Betriebsgenehmigung definiert. Für weiterführende Planungen am FKB, müssen die durch den eVTOL-Betreiber anzuwendenden Verfahren bekannt sein und auf infrastrukturelle Anforderungen an den Vertiport geprüft werden.

Wie beschrieben soll der Flugbetrieb der Flugtaxis zunächst unter Sichtflugbedingungen (VMC) aufgenommen werden. Dies setzt voraus, dass die Wetterbedingungen bestimmte Mindestsichtweiten zulassen, der Horizont erkennbar ist und der Pilot zur Vermeidung von Kollisionen gewisse horizontale und vertikale Mindestabstände zu Wolken einhalten kann. Die Sichtflugregeln sind seit 2014 durch die EASA europaweit einheitlich in den *Standardised European Rules of the Air* (SERA) festgelegt. (European Aviation Safety Agency 2018, SERA.5005 und SERA.5010).

Rechtlich ist die Kontrollzone der FKB als Luftraum der Kategorie D (CTR: *Controlled Traffic Region*) klassifiziert. Ein Einflug nach Sichtflugregeln ist nur nach Freigabe des zuständigen Fluglotsen zulässig. Dabei gelten folgende Sichtflugmindestbedingungen:

1. Hauptwolkenuntergrenze mindestens 1500 ft über Grund
2. Bodensicht mindestens 5 km
3. Flugsicht mindestens 5 km
4. Abstand zu Wolken horizontal 1,5 km; vertikal 1000 ft

Sind die Voraussetzungen 1. oder 2. wetterbedingt nicht gegeben, kann der Pilot dennoch mit Freigabe der Flugverkehrskontrolle einzelne Ab- und Anflüge durch die Kontrollzone nach Sonder-Sichtflugregeln (Special VFR) durchführen. Dabei muss das LFZ frei von Wolken bleiben und der Pilot muss Erdsicht haben. Bei diesem Verfahren beträgt die minimale Flugsicht für Piloten von Flugzeugen 1500 m, für Helikopter-Piloten 800 m.

Unterhalb der folgenden Minima wird die Flugverkehrskontrolle keine Freigabe erteilen:

- Bodensicht weniger als 1500 m (für Helikopter weniger als 800 m)
- Hauptwolkenuntergrenze unterhalb 180 m (600 ft) über Grund

Zum Vergleich: Bei einer Bodensicht von 800 m oder weniger beginnt auch die Betriebsstufe CAT I des Instrumentenlandeverfahrens (Instrument Landing System: ILS).

Es ist anzunehmen, dass für eVTOLs die für Helikopter gültigen Minima zur Anwendung kommen werden.

Im Flugplatzverkehr gibt es verschiedene Bereiche und Positionen, für die jeweilige Zuständigkeiten festgelegt sind. In den ICAO Standards wird zwischen der Movement-Area für Start, Landung und Rollen, sowie dem Apron zur Beladung, Entladung und Rollen unterschieden. Nach § 27c LuftVG obliegt der Flugverkehrskontrolldienst für die Movement-Area des Flugplatzes der DFS. Die Abfertigungsaktivitäten auf dem Apron unterliegen hingegen der Zuständigkeit des Flughafens. Der konkrete Zuständigkeitsübergang wird für jeden Flughafen individuell durch „grüne Linien“ in dem entsprechenden Kartenmaterial ausgewiesen und ist damit eindeutig festgelegt. Dementsprechend müssten auch die Flächen des Vertiports kategorisiert und die Verantwortlichkeiten eindeutig zugewiesen werden. Demnach liegt das Aufrollen auf die FATO sowie das Abrollen von der FATO im Zuständigkeitsbereich der DFS, und das Aufrollen auf die Stellplätze/Parkpositionen sowie das Abrollen von den Stellplätzen/Parkpositionen im Zuständigkeitsbereich des Vertiport-Betreibers. Die Verfahren zur Übergabe der LFZ sind entsprechend zu beschreiben, wobei eine möglichst geringe zusätzliche Arbeitsbelastung für die Lotsen berücksichtigt werden sollte.

Die geplanten Betriebszeiten setzen einen möglichen Flugbetrieb während der Nacht voraus. Bei geeigneten Wetterbedingungen sind Nachtflüge unter Sichtflugbedingungen (Night VFR) möglich, insofern eine entsprechende Betriebsgenehmigung des Betreibers vorliegt. Allerdings ist darauf hinzuweisen, dass Nachtflüge nur nach bzw. von eigens dafür zugelassenen Flugplätzen durchgeführt werden dürfen. Das heißt, dass der Zielflugplatz eines Flugtaxi auch eine entsprechende Zulassung haben muss und die Auswahl an möglichen Zielorten dadurch signifikant eingeschränkt sein wird. Einschränkungen dieser Art würden auch für einen IFR-Flugbetrieb gelten.

Es zeigt sich, dass die Entwicklung von automatischen Flugführungssystemen und der infrastrukturelle Ausbau eines Netzes an geeigneten Vertiports für einen flächendeckenden Flugtaxibetrieb unerlässlich ist. Von Sichtweiten unabhängige autonome Flugführungssysteme könnten die heute noch bestehenden Einschränkungen im operationellen Flugbetrieb erheblich mindern und die manuelle Flugverkehrskontrolle entlasten. Wetterbedingte Flugausfälle wären dann nur durch Extremwetterbedingungen mit starken Winden, Niederschlägen oder Vereisungen zu erwarten.

Auch wenn durch eine anfängliche Beschränkung auf einen Flugbetrieb nur unter Sichtflugbedingungen, noch nicht alle kommerziellen Potentiale ausgeschöpft werden können, so werden

doch bis zur Einführung neuer Flugführungssysteme wertvolle Erkenntnisse zu betrieblichen Abläufen, Nutzungsmöglichkeiten des Luftraums, Auswirkungen auf die Umwelt und der Akzeptanz in der Öffentlichkeit gewonnen werden.

7 Betriebliche Anforderungen an die Passagierabfertigung

In diesem Kapitel sollen die zuvor vorgestellten Konzeptbausteine, welche sich überwiegend auf Infrastruktur- und Betriebsanforderungen auf der Luftseite des Vertiports beziehen, zusammengeführt werden, um ein Anwendungsszenario für weitere Untersuchungen zu erstellen. Anschließend erfolgt die Definition von möglichen Anforderungen an die landseitige Vertiport-Infrastruktur, welche auch die Terminalinfrastruktur für den Flugtaxibetrieb umfasst. Dabei stehen Passagierabfertigungskomponenten wie beispielsweise Kontrollprozesse im Fokus.

7.1 Definition des Anwendungsszenarios

Das Anwendungsszenario, welches in diesem Abschnitt definiert wird, dient der weiteren, spezifizierten Untersuchung von Anforderungen an die Passagierabfertigung. Für das Anwendungsszenario werden die grundlegenden Annahmen, welche im Rahmen des Basisszenarios getroffen wurden, übernommen. Somit werden die möglichen Fluggeräte sowie deren technische Merkmale (Reichweite, Kapazität, etc.) zugrunde gelegt, welche in Kapitel 3.3 beschrieben sind. Ebenfalls wird die zuvor ermittelte Passagiernachfrage berücksichtigt (Kapitel 3.1).

Im Rahmen der Identifizierung von auf Grundlage der derzeitigen Rechtslage anzunehmenden Anforderungen an die Flugbetriebsflächen und der darauf aufbauenden Bewertung potentieller Standorte am Flughafen Köln/Bonn haben die Standorte Parkhaus *P2* und Parkhaus *P3* die meisten Vorteile aufgewiesen. Diese potentiellen Standorte besitzen die Gemeinsamkeit, dass sie auf der Landseite des Flughafengeländes liegen und als erhöhte bauliche Struktur umgesetzt werden müssten. Diese gemeinsamen Merkmale werden folglich für einen möglichen Standort vorausgesetzt, welcher im Rahmen des Anwendungsszenarios betrachtet wird. Ebenfalls sind alle Standorte fußläufig von den Flughafenterminals aus erreichbar, sodass in dem Anwendungsszenario von einem kontinuierlichen, unabhängigen Passierzufuss auszugehen ist.

Bezüglich des Flugbetriebs enthält das Anwendungsszenario die Annahmen und Konzeptentwürfe, welche in Kapitel 6 vorgestellt wurden. Das Anwendungsszenario geht folglich von einem bemannten, pilotierten Flugbetrieb aus, welcher im Rahmen des Sichtflugs erfolgt.

Für das so gebildete Anwendungsszenario werden im Folgenden die resultierenden Anforderungen an die landseitige Vertiport-Infrastruktur abgeleitet.

7.2 Anforderungen an die Vertiport-Landseite und Terminalinfrastruktur

Der Terminalbereich eines Flugplatzes bzw. Flughafens bildet die Schnittstelle zwischen der Luft- und Landseite und enthält alle erforderlichen Prozessstellen der Passagier- und Gepäckabfertigung (Mensen 2007, S. 235). Auch für einen künftigen Vertiport für Flugtaxiverkehre ist die Realisierung eines Terminalbereiches unerlässlich. Aufgrund der voraussichtlich reduzierten Anforderungen an die Abfertigungsprozesse und der unmittelbaren Nähe zu den vollausgebauten Terminals des Flughafens ist davon auszugehen, dass ein solches Flugtaxi-Terminal einen geringeren Umfang als ein klassisches Flughafenterminal aufweisen wird. Im Folgenden werden die rechtlichen Rahmenbedingungen und die resultierenden Anforderungen an die Abfertigungskomponenten erläutert. Auf Basis dieser Ergebnisse entsteht ein Konzept, welches eine mögliche Terminalinfrastruktur für den Flugtaxibetrieb am Beispiel des FKB beschreibt.

Grundvoraussetzung für einen Terminalbereich ist die landseitige Schnittstelle in Form eines Zugangs für Passagiere und Mitarbeiter. Außerdem sollten auf der Landseite Möglichkeiten der intermodalen Verkehrsanbindung bereitgestellt werden. Diese Voraussetzungen sind für die zwei betrachteten potentiellen Standorte (Parkhaus *P2* und Parkhaus *P3*) erfüllt, wobei die Standortbewertung gezeigt hat, dass die Qualität der Erreichbarkeit und Zugänglichkeit sich je Standort unterscheidet.

Die Erforderlichkeit der Anlagen und Prozessstationen im Terminal wird im Folgenden erläutert und in einem Abfertigungskonzept zusammengefasst, welches in Abbildung 26 dargestellt ist.

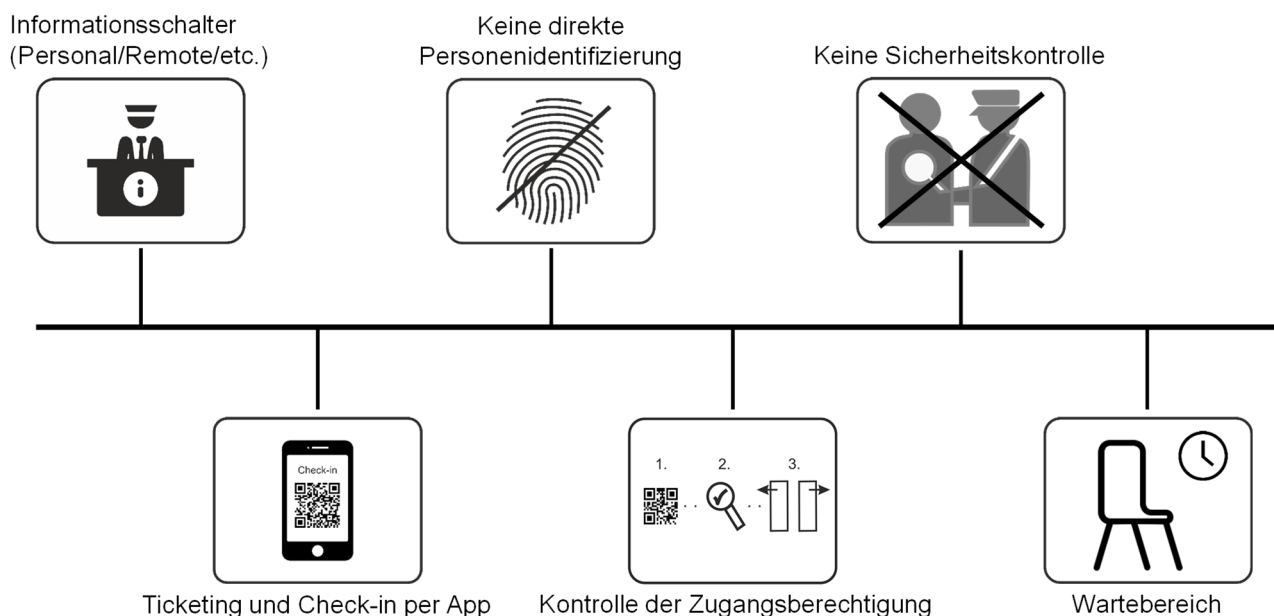


Abbildung 26: Abfertigungskonzept für abfliegende Passagiere in einem Flugtaxibetrieb

Das Terminal sollte für Reisende die Möglichkeit bieten, Informationen über ihren Flug und die Reisebedingungen zu erhalten. Dies muss nicht zwingend an einem mit Personal besetzten Schalter geschehen. Alternativ könnten neuartige Möglichkeiten der Informationsvermittlung wie beispielsweise ein Video-Chat mit einem remote-verbundenen Mitarbeiter oder ein KI-gesteuerter Roboter vor Ort angeboten werden.

Im Betrachtungsfall abfliegender Passagiere stellen Ticketerwerb und Check-in die ersten erforderlichen Prozessschritte dar (Mensen 2007, S. 237). Aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung und Automatisierung dieser Prozesse, welche derzeit im konventionellen Luftverkehr stattfindet, ist davon auszugehen, dass diese Prozessschritte mobil durchlaufen werden können und eine technische Anlage vor Ort, wie beispielsweise ein Selfservice Check-in Automat, nicht zwingend benötigt wird.

Der Transportdienst wird in Form eines On-Demand-Service angeboten. Sobald Passagiere ein Ticket erworben bzw. eingecheckt haben, durchlaufen sie die weiteren Warteschlangen und Abfertigungsprozesse inklusive des Boarding nach dem First-Come-First-Serve-Prinzip. Es werden keine Tickets für konkrete Flugereignisse zu vorab festgelegten Abflugzeiten ausgestellt. Die Abwicklung ist somit an die Nutzung von bodengebundenen Taxis angelehnt im Gegensatz zum Ticketverkauf im konventionellen Luftverkehr.

Die Flugtaxis können aus technologischer Sicht gemäß des aktuellen Entwicklungsstandes Entfernungen von bis zu 300 km überwinden. Damit sind vom Standort Köln/Bonn aus Ziele innerhalb Deutschlands sowie in angrenzenden Ländern des Schengen-Raums (Belgien, Frankreich, Luxemburg, Niederlande) erreichbar. Aufgrund der bestehenden Reise- und Bewegungsfreiheit der Schengen-Länder gehen Experten davon aus, dass eine Personenidentifizierung sowie Pass- und Zollkontrolle der Reisenden bzw. ihres Gepäcks nicht erforderlich sind.

Um ein unberechtigtes Betreten des luftseitigen Bereiches des Vertiports zu verhindern, sollte eine Zugangskontrolle stattfinden, die erfolgreich absolviert werden muss, damit die Reisenden Zugang in einen baulich getrennten Abflugbereich erhalten. Klassischerweise findet im Terminal in unmittelbarem Zusammenhang der Zugangskontrolle auch die Sicherheitskontrolle der Fluggäste statt. Die Erforderlichkeit einer Sicherheitskontrolle wird im Folgenden ausführlich diskutiert und bewertet.

Die gesetzliche Grundlage in Deutschland in Bezug auf die Sicherheitskontrolle ist das LuftSiG. Dieses gibt grundsätzlich für Flugplatzbetreiber vor, dass sie zum Schutze des Flughafenbetriebs die erforderlichen baulichen Maßnahmen sowie Kontrollen gewährleisten müssen. Gemäß § 8 Absatz 2 LuftSiG kann von dieser Vorgabe jedoch abgewichen werden, sofern eine entsprechende ortsbezogene Risikobewertung hinreichend ausfällt und die Voraussetzungen nach EU-Verordnung Nr. 1254/2009 erfüllt sind. Diese Voraussetzungen sind insbesondere Verkehrskategorien, welche in der EU-Verordnung benannt werden und für den Betrachtungsfall mindestens einfach zutreffen müssen, damit ein abweichendes Maß von Sicherheitsmaßnahmen gewählt werden darf. Die Verkehrskategorien sind unter anderem Verkehre durch „Luftfahrzeuge mit einer Starthöchstmasse von

weniger als 15.000 Kilogramm“ sowie durch „Drehflügler“ und treffen damit potentiell auch auf Flugtaxiverkehre zu.

Im aktuellen Luftverkehrsgeschehen, stellt die allgemeine Luftfahrt den am nächsten vergleichbaren Fall zu einem Flugtaxibetrieb dar. Sie beinhaltet alle Verkehre, welche keine Linien- oder Charterverkehre darstellen, und umfasst somit unter anderem auch Regierungsflüge, Privatflüge und Rundflüge. Verkehrslandeplätze, die ausschließlich der allgemeinen Luftfahrt dienen, haben gemäß der oben vorgestellten Gesetzeslage häufig keinen Sicherheitsbereich und keine Sicherheitskontrollen, da ein reduzierter Umfang an Sicherheitsmaßnahmen als ausreichend erachtet wird. Ein Beispiel hierfür ist der Verkehrslandeplatz Aachen Merzbrück, aber auch höher frequentierte Flugplätze wie z. B. der Flugplatz Juist. Ebenso existieren derzeit in den USA bereits Helikoptertaxidienste. Die für Start und Landung erforderlichen Hubschrauberlandeplätze sind ebenfalls nicht mit einer Sicherheitskontrolle ausgestattet.

Im Gegensatz dazu muss bei dem Betrieb der allgemeinen Luftfahrt an einem Verkehrsflughafen eine vollständige Sicherheitskontrolle durchlaufen werden. Dies ist durch den Umstand begründet, dass Piloten und Passagiere in diesem Fall vom Sicherheitsbereich des Verkehrsflughafens aus abfliegen. Die erforderliche Prozessstation ist in der Regel in einem General Aviation Terminal platziert.

Aufgrund der beschriebenen vergleichbaren On-Demand-Verkehre, welche momentan im Rahmen der allgemeinen Luftfahrt stattfinden, wird vermutet, dass für den Betrieb von Flugtaxis keine Sicherheitskontrolle erforderlich sein wird. Dennoch ist eine gesicherte Aussage über die Anforderungen an Sicherheitsmaßnahmen im Rahmen von Flugtaxidiensten erst möglich, wenn die durch den Bund vorgegebene Gesetzeslage auf das neu entstehende Themenfeld der Urban Air Mobility erweitert worden ist. Es ist außerdem davon auszugehen, dass sich die Gesetzeslage ändern wird, falls ein vorsätzlicher, krimineller Eingriff in die Sicherheit von Flugtaxiverkehren passieren würde. Dieses – für den Luftverkehr typische – Phänomen hat in den vergangenen Jahrzehnten infolge verschiedener terroristischer Angriffe (Lockerbie-Anschlag, 9/11, etc.) entsprechende Sicherheitsmaßnahmen hervorgerufen.

Auch wenn eine konventionelle Sicherheitskontrolle nicht erforderlich sein sollte, muss dennoch vor dem Abflug sichergestellt werden, dass das maximal zulässige Abfluggewicht eingehalten wird und der Gepäckumfang den Vorgaben des Betreibers entspricht. Darüber hinaus muss die Gewichtsverteilung im Fluggerät so erfolgen, dass der Schwerpunkt des Luftfahrzeugs richtig ausgelegt ist. Dieser Prozess ist im bestehenden Flugverkehr durch die Anfertigung eines Loadsheets vorgesehen. Die genannten Maßnahmen in Bezug auf die Flugsicherheit (Safety) müssen unabhängig von Security-Maßnahmen ergriffen werden und sollten für einen optimalen Abfertigungsablauf ebenfalls im Flugtaxiterminal stattfinden. Die Verantwortlichkeit liegt in diesem Fall bei dem Betreiber des Flugtaxidienstes.

Nach Überprüfung der Einhaltung aller Beförderungsbedingungen, könnten die Passagiere in einem Wartebereich ähnlich einer Abfluglounge darauf warten, dass ihr Flugtaxi abflugbereit ist. Sobald dies der Fall wäre, könnten die Passagiere sich auf das Vorfeld begeben und in das Flugtaxi steigen. Wie in Kapitel 4.4.1 bereits erläutert wurde, wird davon ausgegangen, dass das Betreten des Flugtaxis parallel zum Turnaround des Fluggerätes stattfinden sollte. Beim Betreten des Vorfelds sind zum Schutz der Passagiere Vorsichtsmaßnahmen zu treffen, um das unbefugte Bewegen auf dem Vorfeld oder das Betreten von Flugtaxis zu vermeiden. Dies kann durch eine entsprechende bauliche Gestaltung oder durch die Beaufsichtigung und Begleitung durch geschultes Personal sichergestellt werden.

8 Simulation des Passagier- und Flugbetriebs am Vertiport

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie wird eine mögliche Start-/Landeinfrastruktur für einen Flugtaxibetrieb am Beispiel eines möglichen Vertiports am FKB mithilfe eines Computersimulationstools untersucht. Das Ziel der Simulation ist die visuelle Darstellung der Prozesse an der Flugtaxiinfrastruktur, die Ermittlung kapazitiver Kenngrößen sowie die Identifizierung von Engpässen im Abfertigungssystem.

Die Simulation zielt auf die Ermittlung verschiedener **Ausgangsgrößen** ab. Die in dieser Studie betrachteten Ausgangsgrößen sind die Wartezeit der Passagiere, die Aufenthaltszeit der Passagiere am Vertiport, die tatsächliche Leistungsfähigkeit der Infrastruktur sowie der Sitzladefaktor der Flugtaxis. Die Ermittlung weiterer Ausgangsgrößen kann Gegenstand vertiefter Simulationsstudien werden.

8.1 Vorgehen und Durchführung der Simulation

Als Simulationssoftware wird *Anylogic* eingesetzt. Diese Software basiert auf der Programmiersprache Java. Sie bietet den Vorteil verschiedener Simulationsformen und ermöglicht sowohl die systemdynamische, die agentenbasierte als auch die ereignisorientierte Simulationsmodellierung. Aufgrund des hohen Detaillierungsgrads, welcher eine Betrachtung der Prozesse auf mikroskopischer Modellierungsebene erfordert, wird für die Studie die ereignisorientierte Simulationsmethodik gewählt. Durch die Simulation kann somit erstmalig ein Betrieb von Flugtaxis an einem Standort am FKB dargestellt und kapazitiv untersucht werden.

Zur Vereinfachung erfolgt im Rahmen dieser Studie lediglich die Darstellung der abfliegenden Passagiere. Die Berücksichtigung der Prozesse ankommender Passagiere (Deboarding etc.) kann eine Reduzierung der Kapazität der Vertiport-Infrastruktur zur Folge haben, zum Beispiel aufgrund einer steigenden Auslastung des Aufsichtspersonals auf dem Vorfeld. Eine durch die Simulation ermittelte Infrastrukturkapazität ist an dieser Stelle entsprechend zu bewerten.

Die Simulation wird für den Betriebszeitraum zwischen 6:00 Uhr und 22:00 Uhr durchgeführt. Für diesen Zeitraum wird die Annahme günstiger Witterungsbedingungen bzw. Standardbedingungen (International Standard Atmosphere - ISA) getroffen, sodass der Flugbetrieb hinsichtlich externer Einflüsse uneingeschränkt stattfinden kann. Des Weiteren werden keine konkreten Flugrouten zu anderen Destinationen modelliert. Es wird angenommen, dass im Rahmen der infrastruktur- und lufttraumabhängigen Kapazitäten ein ständiger Zufluss an Flugtaxis vorliegt. Somit entstehen auf der luftseitigen Infrastruktur des Vertiports keine Leerzeiten und es kann die maximale Leistungsfähigkeit des Vertiports untersucht werden.

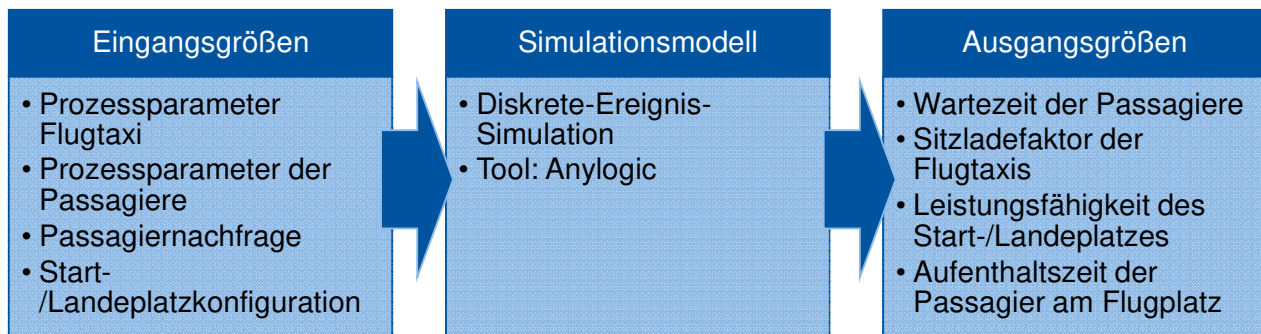


Abbildung 27: Schematische Darstellung der Vorgehensweise zur Simulation

Für die Simulation sind verschiedene Eingangsgrößen erforderlich. Diese ergeben sich teilweise infolge des zuvor definierten Basisszenarios. Darüber hinaus werden die benötigten Eingangsparameter durch eine Literaturrecherche ermittelt. Aussagen zu den Eingangsgrößen für die Simulation sind bei dem aktuellen Kenntnisstand über künftige Flugtaxiverkehrssysteme nicht gesichert gegeben. Die Eingangsgrößen und deren Werte sind in Tabelle 7 auszugsweise zusammengefasst.

Tabelle 7: Eingangsgrößen der Simulation

Eingangsparameter	Wert	Quelle
Passagierankunftsverteilung	Zufallsverteilt, Ankunftsrate gemäß Basisszenario	Basisszenario (s. Abb. 3 - Abflug)
Betriebszeiten	6 - 22 Uhr	Basisszenario
Staffelungsabstand	3 Minuten	Abstimmung mit der DFS
Dauer An-/Abflug	2 Minuten	Kadhiresan und Duffy 2019
Dauer Taxiing und Übergabe DFS	1 Minute	Annahme
Anzahl Stellplätze	6	Kapitel 5
Dauer Ladeprozess (inkl. sonstiger Turnaroundprozesse)	30 Minuten	Annahme nach Experteninterviews
Passagiergeschwindigkeit	Uniformverteilung 0,7 - 1,4 m/s	Zebala, Ciepka und Reza 2012
Prozessdauer Zugangskontrolle	Uniformverteilung 5 - 20 s	Annahme
Prozessdauer Boardingkontrolle (Gewichtserfassung, Überprüfung Gepäckumfang)	Uniformverteilung 30 - 60 s	Annahme

Die simulative Untersuchung wird beispielhaft für Abschnitt 2 des **Parkhaus P2** durchgeführt (vgl. Abbildung 18), da dieser Standort im Rahmen der Standortbewertung als eine geeignete Option identifiziert wurde. Im Rahmen der Simulationsstudie wird die favorisierte Konfiguration der Infrastrukturkomponenten des Start-/Landeplatzes untersucht (vgl. Abbildung 24). Gemäß den zuvor beschriebenen wahrscheinlichen Anforderungen an die Start-/Landeinfrastruktur wäre auf diesem Standort die Errichtung von **6 Stellplätzen und einer Start-/Landefläche** möglich. Bei alternativen Konfigurationen beziehungsweise Standorten sind veränderte Betriebs- und Auslastungsparameter zu erwarten, welche in vertiefenden Simulationsstudien untersucht werden müssten.

Wie in Kapitel 7 beschrieben, ist die Gewährleistung eines sicheren Ablaufs auf dem Vorfeld erforderlich. Diese Anforderung wird im Simulationsmodell umgesetzt, indem ein **Mitarbeiter auf dem Vorfeld** die Passagiere am luftseitigen Ausgang des Vertiport-Terminals abholt und zum entsprechenden Flugtaxi begleitet. Die Simulation beschränkt sich auf die Betrachtung *eines* aktiven Mitarbeiters mit dieser Zuständigkeit. Bei einer Erweiterung des Simulationsmodells sollte auch der Einfluss einer höheren Verfügbarkeit von Mitarbeitern untersucht werden, da das begleitete Boarding zum Flugtaxi insbesondere bei großen und stark ausgelasteten Flugplätzen einen Engpass darstellen kann.

Bei der simulationsbasierten Untersuchung des Flugtaxiinfrastruktur-Modells werden zwei Szenarien mit einer **Sitzplatzkapazität** von zwei beziehungsweise vier Passagieren und je einem zusätzlichen Sitzplatz für den Piloten betrachtet. Da ein Netz von Start-/Landeplätzen in der Umgebung des FKB nicht Bestandteil der Studie ist, wird für die Simulation angenommen, dass die Passagiere sich zu gleichen Flugzielen zusammenfinden und stets zu der gleichen Destination reisen. Sofern sich in der Warteschlange abflugbereiter Passagiere nicht mindestens Personen entsprechend der maximalen Sitzplatzkapazität eines Flugtaxis befinden, wird eine Wartezeit von drei Minuten aufgeschlagen, um möglicherweise kurzfristig eintreffende Passagiere beim Boarding berücksichtigen zu können. Sobald die Kapazität eines Flugtaxis durch das Eintreffen weiterer Passagiere erreicht wird, kann das Boarding sofort beginnen. Falls innerhalb dieser Zeitspanne nicht genügend Passagiere abflugbereit werden, startet das Boarding nach Verstreichen der drei Minuten auch ohne maximale Auslastung des Flugtaxis.

Aufgrund der begrenzten Kapazität des kontrollierten Luftraums in Umgebung der Start-/Landeinfrastruktur wird angenommen, dass Flugtaxis minimal mit einem **Abstand von drei Minuten gestaffelt** werden können. Des Weiteren wird für die Simulation vorausgesetzt, dass genügend Flugtaxis zwischen verknüpften Zielen und dem FKB verkehren und gemäß dem genannten Staffelnungsabstand problemlos in die Kontrollzone integriert werden können. Durch diese Annahme rückt die Bodeninfrastruktur in den Fokus der Kapazitätsuntersuchung und es wird eine maximale Auslastung dieser Infrastruktur simuliert.

Auf dem Vorfeld wird für den **Betrieb der Flugtaxis** die Vorgabe getroffen, dass der Anflug auf die FATO erst möglich ist, sobald alle anderen Flugtaxis von diesem weggerollt sind. Gleichzeitige Bewegungen auf der Rollbahn sind nicht möglich. Das Rollen zwischen den Stellplätzen und der FATO

dauert bei einer Rollgeschwindigkeit von 2,5 m/s (Federal Aviation Administration (FAA) 2019) zwischen 16 und 32 Sekunden. Jedoch wird die Dauer für diesen Vorgang mit durchschnittlich einer Minute angenommen, um neben der Rollzeit auch die Dauer für die Übergabe der Verantwortlichkeit zwischen DFS und Fluginfrastrukturbetreiber zu berücksichtigen. Dieser Vorgang ist zwischen dem Rollen auf dem Vorfeld und einem Start- oder Landeereignis erforderlich.

8.2 Ergebnisse und Bewertung der Simulation

Die Darstellung der Simulationsergebnisse sowie deren anschließende Bewertung unter Berücksichtigung der verwendeten Eingangsgrößen und gewählten Vorgehensweise erfolgt in diesem Kapitel.

Die betrachteten Ausgangsgrößen der Simulation (Wartezeit der Passagiere, Sitzladefaktor der Flugtaxi, Leistungsfähigkeit des Start-/Landeplatzes und Aufenthaltszeit der Passagiere am Vertiport) wurden für die beiden beschriebenen Simulationsszenarien über den Betriebszeitraum von 6:00 Uhr bis 22:00 Uhr als Durchschnittswert ermittelt und sind in Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Ausgangsgrößen der Simulation

Anzahl Sitzplätze je Flugtaxi		2	4
Auslastung Flugtaxi	Pax	2,0	3,8
Leistungsfähigkeit Vertiport	LFZ/h	9,6875	9,5625
Wartezeit an der Zugangskontrolle	hh:mm:ss	00:00:00	00:00:00
Wartezeit für die Gewichtserfassung	hh:mm:ss	00:08:47	00:08:31
Wartezeit bis zum Abflug	hh:mm:ss	03:52:54	02:02:40
Durchschn. Aufenthaltsdauer der Pax am Vertiport	hh:mm:ss	04:19:50	02:28:38

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass in beiden Szenarien die Kapazität des konzipierten Vertiports nicht ausreicht, um einen attraktiven Verkehrsdienst per Flugtaxi bereitzustellen. Aufgrund der überschrittenen Kapazität entstehen Wartezeiten von mehreren Stunden, welche eine vergleichbare Wartezeit auf ein bodengebundenen Taxi, die mit maximal 15 Minuten angenommen wird, um ein Vielfaches übersteigt. Die Wartezeit auf ein abflugbereites Flugtaxi kann bei einer Verdopplung des Sitzplatzangebotes je Fluggerät etwa halbiert werden. Gegenüber dieser Wartezeitkenngroße sind die Wartezeiten für Zugangskontrolle und Gewichtserfassung um eine Größenordnung geringer und unterscheiden sich in den beiden Szenarien nur um wenige Sekunden.

Aufgrund dieser Ergebnisse wird deutlich, dass der Engpass des Vertiports nicht bei den landseitigen Abfertigungskomponenten, sondern auf der Luftseite vorliegt. Betrachtet man den Ablauf des

Flugbetriebs innerhalb einer Simulation, so zeigt sich, dass hinsichtlich der luftseitigen Infrastrukturkomponenten die Stellplätze nicht den kritischen Teil der Infrastruktur darstellen, da hierbei gemäß der kapazitiven Betrachtung in Kapitel 4.4.1 bereits ein Zuschlag von einem zusätzlichen Stellplatz vorgenommen wurde. Stattdessen müssen Rollvorgänge der Luftfahrzeuge regelmäßig verzögert werden, da die Rollbahn des Vertiports und die Start-/Landefläche fast durchgehend maximal ausgelastet ist. Dieser Zustand bedingt die Leistungsfähigkeit der Infrastruktur: Während gemäß der Luftraumkapazität theoretisch 10 Flugtaxis pro Stunde möglich wären (3 Minuten Staffellungsabstand für je An- und Abflug), bewirkt das Warten der Luftfahrzeuge auf den Roll- und Startvorgang die Reduzierung dieses Wertes auf 9,7 LFZ/h bzw. 9,6 LFZ/h.

Perspektivisch kann somit die Erweiterung der Vertiport-Luftseite, durch Umnutzung eines weiteren Bauelements des *P2* oder durch die Einrichtung einer weiteren Flugtaxiinfrastruktur auf einem anderen geeigneten Standort am FKB (zum Beispiel *P3*) aus kapazitiven Gründen sinnvoll sein. Dabei ist auch eine Erweiterung durch die Anlage von Stellplätzen, welche zunächst ohne Ladeinfrastruktur ausgestattet sind, in Betracht zu ziehen. Ein kritischer Engpass besteht unabhängig von der Bodeninfrastruktur jedoch durch den Luftraum in der Kontrollzone des FKB, da der Flugbetrieb bei Flug nach Sichtflugregeln und entsprechender Staffelung durch die Flugsicherung an die Kapazitätsgrenze stößt. Durch einen zukünftig zu realisierenden, autonomen Flugbetrieb kann der Staffellungsabstand voraussichtlich reduziert werden, sodass die Kapazität dieser Systemkomponente nicht als endgültig anzusehen ist. Unabhängig davon muss die erhöhte Belastung der DFS-Lotsen im Tower am Flughafen beachtet und durch entsprechende Personalressourcen aufgefangen werden.

Infolge der hohen Wartezeiten kommt es zu hohen Aufenthaltszeiten der Passagiere am Vertiport. Die Warte- und Prozesszeiten für die landseitigen Abfertigungsprozesse der Passagiere sowie die Wegezeiten im Terminal und beim Boarding sind dabei in der durchgeführten Simulation um ein Vielfaches geringer als die Wartezeit auf die Bereitstellung eines Flugtaxis. Abbildung 28 zeigt, dass sich bereits gegen 9 Uhr Simulationszeit eine Warteschlange von ca. 20 Personen im Terminal gebildet hat, welche im Verlauf des Tages stetig zunimmt.

Aufgrund der hohen Warteschlangenlänge am Vertiport wird die Kapazität der Flugtaxis stark ausgenutzt. Bei der Betrachtung mit zwei Sitzplätzen je Flugtaxi beträgt der Sitzladefaktor 100%. Eine Kapazität von vier Passagieren je Flugtaxi weist ebenfalls eine nahezu maximale Auslastung von durchschnittlich 3,8 Personen je Fluggerät auf.

Die Ladezeit der Luftfahrzeuge wurde in der Simulation stets mit 30 Minuten angenommen. Diese Annahme basiert auf der These, dass ein ankommendes Flugtaxi bei jeder Ankunft am Vertiport keine Energiereserven aufweist und die technisch maximal mögliche Reichweite zurückgelegt wurde. In der Realität werden jedoch in der Regel Restkapazitäten der Akkuleistung vorhanden sein, sodass sich die Ladezeit verkürzt. Dies erhöht die Kapazität der Stellplatzkonfiguration, sodass sich der Engpass möglicherweise weiter zum Luftraum beziehungsweise zur Start-/Landefläche verschiebt.

Die ermittelten Wartezeiten stehen in Abhängigkeit mit der angenommenen Passagiernachfrage in der Simulation. Die Passagiernachfrage wird mit 4,85% des prognostizierten Verkehrsaufkommens am FKB mäßig bis hoch eingeschätzt. Da zu Beginn der Markteinführung eines Flugtaxidienstes möglicherweise eine geringere Nachfrage vorherrschen wird, ist eine weniger ausgeprägte Überschreitung der Kapazität des Vertiports möglich, die weniger hohe Wartezeiten erzeugt. Allgemein zeigt das Modell, dass ein gerechtfertigter Bedarf einer Flugtaxiinfrastruktur besteht.

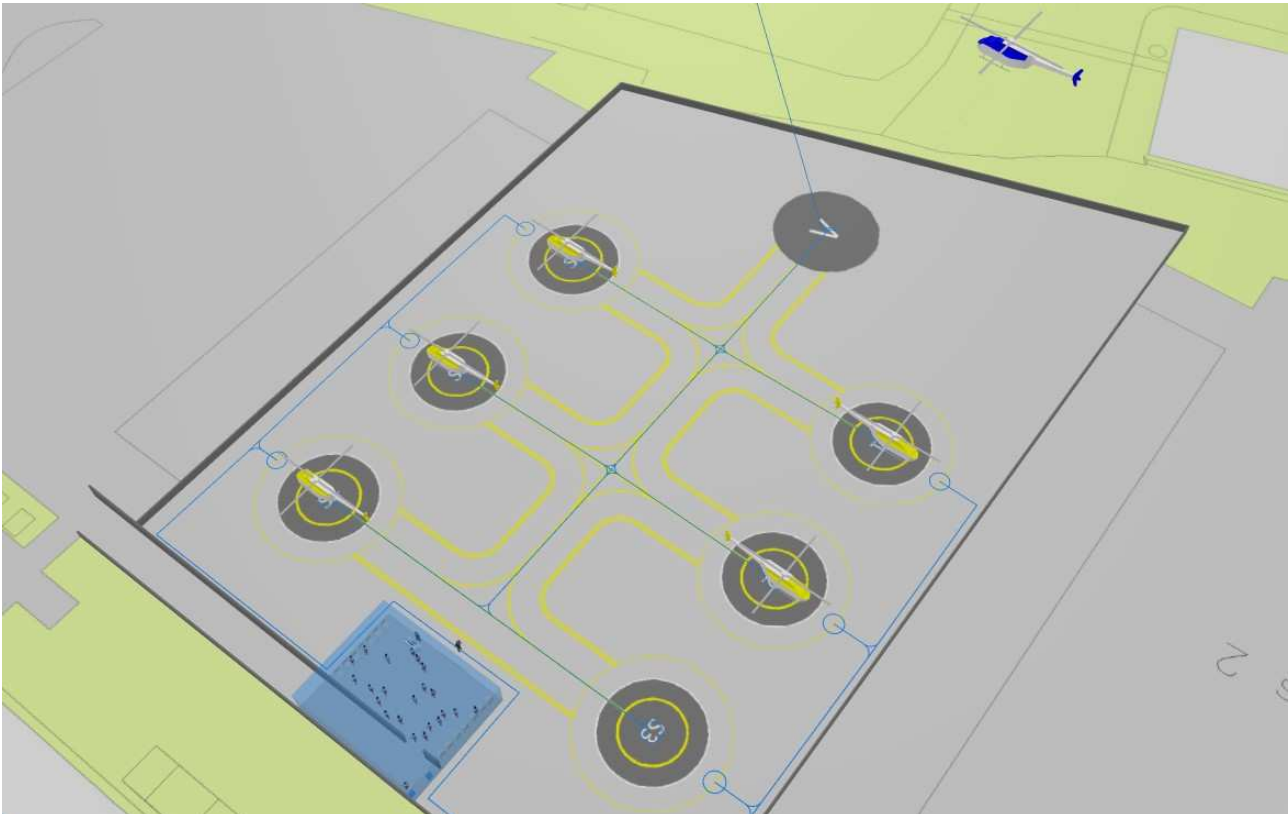


Abbildung 28: Screenshot der Simulation bei 9 Uhr Simulationszeit

Es ist zu beachten, dass ein Großteil der Eingangsgrößen einer starken Volatilität unterliegt, die den aktuellen Entwicklungen der Urban Air Mobility geschuldet ist. Aufgrund dieser Unsicherheit sind die Ergebnisse der Simulation in eingeschränktem Umfang belastbar. Zukünftig veröffentlichte Informationen über Rahmenbedingungen eines Flugtaxidienstes bieten das Potential die Aussagekraft der Simulationsstudie zu verbessern und erfordern in jedem Fall eine Anpassung der Eingangsparameter der Simulation. Darüber hinaus bieten sich Maßnahmen an, um die Realitätstreue des Modells zu verbessern, beispielsweise durch die Abbildung ankommender Passagiere. Auch die detailliertere Darstellung der Navigations- und Stafflungsprozesse im kontrollierten Luftraum des Flughafens kann die Belastbarkeit der Simulationsergebnisse verbessern. Zuletzt sollte die Möglichkeit genutzt werden, verschiedene Eingangsparameter und deren Wirkung auf die Kapazitätsgrenze der Infrastruktur, wie etwa die zuvor thematisierte Ladezeit der Fluggeräte, im Rahmen einer Sensitivitätsanalyse näher zu untersuchen. Das im Rahmen der Studie angefertigte Modell bietet Grundlage für weitere solcher Simulationsstudien.

9 Fazit

9.1 Zusammenfassung der Anforderungen und Festlegungen

Die Zielsetzung dieser Studie ist eine ergebnisoffene Untersuchung der infrastrukturellen Anforderungen und flugbetrieblichen Regularien für einen Flugtaxi Service am FKB. Um die Vorteile eines solchen Angebots vollumfänglich nutzen zu können, soll der Vertiport landseitig integriert, eine optimale Verkehrsanbindung erreicht, der Zugang vereinfacht und den Passagieren höchste Flexibilität ermöglicht werden. Basierend auf der heute existierenden Infrastruktur und unter Berücksichtigung strategischer Überlegungen, soll diese initiale Untersuchung bekannte Anforderungen beschreiben und erste Startwerte festlegen, um später darauf aufbauend weitere Planungen iterativ durchführen zu können.

Um die Komplexität der Gesamtbetrachtung zu reduzieren, wurden folgende Annahmen getroffen:

- Der Flugbetrieb wird mit einem lizenzierten Berufspiloten an Bord des LFZ durchgeführt.
- Die manuelle Flugführung wird zunächst nur nach Sichtflugregeln (VFR) stattfinden.
- Es wird nur eine elektrische Stromversorgung zum Laden von LFZ-Batterien betrachtet, eine Versorgung mit gasförmigen oder flüssigen Kraftstoffen wird aktuell nicht bewertet.
- Es wird vorausgesetzt, dass die Ticketpreise für die Passagiere akzeptabel sind.

In einem Basisszenario wurden zunächst potentielle Passagiernachfrage, potentielle Flugziele und relevante Fluggeräte untersucht:

- Die für das Jahr 2025 erstellte Prognose ergibt potentiell eine durchschnittliche Nachfrage für Abflug und Ankunft von etwa 67 Passagieren pro Stunde, im Tagesverlauf schwankend.
- Potentiell sind die Flugziele im gesamten Einzugsgebiet, d. h. in einem Umkreis von 150 km um den FKB anzunehmen. Es ist davon auszugehen, dass neben den heute schon verfügbaren Verkehrsflughäfen, Landeplätzen und Heliports eine zunehmende Anzahl von Vertiports eingerichtet wird.
- Die große Anzahl an eVTOL-Konzepten sowie große Fortschritte in der technischen Entwicklung, erfordern eine fortwährende Beobachtung und Einordnung der Projekte, um die Relevanz für den Flugbetrieb am FKB bewerten zu können. Es ist aber davon auszugehen, dass zukünftig diverse Fluggeräte mit 2 bis 5 Sitzplätzen zur Verfügung stehen werden.

Damit kann für den ersten Iterationsschritt beschrieben werden, wie viele Passagiere ein Flugtaxi geeigneter Größe in dem bekannten Einzugsgebiet des FKB nutzen würden.

9.2 Zusammenfassung der Ergebnisse

Bezogen auf die in der Projektskizze definierten fünf Arbeitspakete, wurden folgende Erkenntnisse und Resultate ermittelt:

Arbeitspaket 1 - Start- und Landeplätze

1. Die rechtlichen Rahmenbedingungen und daraus folgende Anforderungen an Start- und Landeplätze für Flugtaxis sind derzeit noch nicht verfügbar. Daher wird die Annahme getroffen, dass Flugtaxis in ihren technischen Flugfähigkeiten mindestens den Standard eines Hubschraubers aufweisen werden und somit die Bodeninfrastruktur, welche für den Betrieb von Hubschraubern vorgeschrieben ist, als ausreichend eingestuft werden kann.
2. Die Dimensionierung der Bodeninfrastruktur wird gemäß den Vorgaben für Hubschrauberlandeplätze in starkem Maße durch die größte Dimension des einzusetzenden Fluggerätes bedingt. Da der Start- und Landeplatz für Flugtaxis nicht für einen bestimmten Hersteller dimensioniert werden soll, müssen alle geeigneten Flugtaxikonzeppte in der Betrachtung berücksichtigt werden. Gemäß der für diese Studie als relevant eingestuften Flugtaxikonzeppte, kann eine maximale Länge bzw. Breite der Luftfahrzeuge von 12 m als ausreichend betrachtet werden. Jedoch ist zu beachten, dass derzeit in der Entwicklung befindliche Konzepte, hinsichtlich Reichweite und Nutzlast noch erweitert werden könnten und diese Erweiterung voraussichtlich eine erhöhte Dimension des Fluggerätes zur Folge haben wird.
3. Für die Traglasten des Start- und Landeplatzes sind sowohl der statische Lastfall (Gewicht des LFZ) von 3,5 t, als auch der dynamische Lastfall mit dem Faktor 2,5 (ergibt 8,75 t) anzunehmen.
4. Die zulässige Neigung des Start- Landeplatzes ist individuell zu prüfen. In der Regel ist eine maximale Neigung von 2% nicht zu überschreiten, wobei stets eine ausreichende Neigung zur Entwässerung vorzuhalten ist.
5. Markierungen und Kennzeichnungen sind entsprechend der rechtlichen Vorgaben anzubringen. Insbesondere ist im Falle eines geplanten Nachflugbetriebs eine entsprechende Befeuerung vorzusehen.
6. Der Boden der Start- und Landefläche sollte so beschaffen sein, dass Rotorabwinde getragen und der Bodeneffekt gewährleistet ist.
7. Die Durchdringung des Bauschutzbereiches des FKB durch einen Start-/Landeplatz ist nicht zu erwarten, da keine bauliche Konstruktion zur Errichtung eines Start-/Landeplatzes erforderlich ist.
8. Die Bewertung potenzieller Standorte erfolgt anhand der Kriterien Hindernisfreiheit, Passagierzugänglichkeit, Lärmbelastung, Erweiterbarkeit, Umsetzbarkeit und Strategische

Verfügbarkeit. Als am besten geeignete Standorte wurden das Parkhaus *P2* und das Parkhaus *P3* identifiziert. Für diese Standorte wurden verschiedene mögliche Infrastruktur-Konfigurationen untersucht und eine Handlungsempfehlung abgeleitet.

Arbeitspaket 2 - Stellplätze und Wartungshangars

1. Der gesamte Vertiport wird als eVTOL-Hub ausgelegt, d. h. einem Start-/Landeplatz wird eine Kombination aus Stellplätzen mit Ladestromanschluss und Parkpositionen zum temporären Abstellen der LFZ zugeordnet. Standorte zur Wartung der Flugtaxis sind außerhalb des Vertiports vorgesehen.
2. Als Auslegungsszenario wird ein zeitlich ungestörter idealer Prozess modelliert, um die Anzahl der erforderlichen Stellplätze und die Kapazität des Vertiports zu ermitteln.
3. Das Auslegungsszenario basiert auf An- und Abflügen im Kreisverkehr.
4. Bei angenommenen An- und Abflugzeiten von je 3 Minuten sowie einer Abfertigungsdauer von 30 Minuten ergibt sich eine mindestens erforderliche Anzahl von fünf Stellplätzen mit Ladestrom.
5. Die maximale Kapazität ergibt sich dann für die Bodenabfertigung mit 10 LFZ pro Stunde bzw. mit 20 Flugbewegungen pro Stunde für die Flugsicherung.
6. Um eine Diskussionsgrundlage bzgl. der erforderlichen Parkpositionen zu haben, wurde basierend auf einem Szenario denkbarer Flugzeugumläufe eine Flottengröße von 16 Flugtaxis ermittelt.
7. Die Notwendigkeit ausreichend Parkpositionen vorzuhalten und Instandhaltungsstandorte in erreichbarer Nähe zu planen, erfordert eine gesamtheitliche Betrachtung des Betreiberkonzepts und des daraus resultierenden Flächenbedarfs am FKB.
8. Der sich hier ergebende Flächenbedarf ist maßgebendes Kriterium für die möglichen Standorte am FKB.
9. Die Anzahl der erforderlichen Stellplätze, ist aufgrund der dementsprechenden Anzahl an zu installierenden Ladestationen eine signifikante Größe für die Investitionskosten.
10. Pro Ladestation werden 500 kW vorgesehen, somit ergibt sich bei fünf Stationen eine erforderliche Gesamtleistung von 2,5 MW. Infrastrukturelle Vorkehrungen für einen Batteriewechsel wurden nicht betrachtet.
11. Die Bemessungsgrundlage der Stellplätze und Parkpositionen basiert auf Kreisflächen mit 12 Meter Durchmesser.
12. Die erforderliche statische Traglast wird mit 3,5 Tonnen festgelegt.
13. Dynamische Lasten werden auch bei den Stellplätzen, Parkpositionen und Rollwegen angenommen um eVTOLs mit Kufen zu berücksichtigen. Bei Positionsveränderungen im

Schwebeflug werden denkbare Landefälle z. B. in starken Windböen mit einem Lastfaktor von 2,5 berücksichtigt, sodass eine dynamische Last von 8,75 Tonnen anzunehmen ist.

14. Es werden Bodenanker zum Verzurren der LFZ vorgesehen, weitere Maßnahmen zur Sicherung der LFZ sind mit dem Betreiber abzustimmen.
15. Markierungen und Befeuerungen, sowie ausreichende Ausleuchtungen der Flächen sind vorzusehen.
16. Je nach Einsehbarkeit des Vertiports müssen zusätzliche technische Überwachungseinrichtungen wie Kameras oder Lagedarstellungssysteme berücksichtigt werden.
17. Ein baulich abgetrennter Sicherheitsbereich sowie eine sichere Wegeführung für Passagiere und Personal, ist bei der Planung zu berücksichtigen.
18. Neben den Piloten wird auch Bodenpersonal Aufgaben zur Koordination des Flugbetriebs, zur Abfertigung der LFZ und in der Passagierbetreuung am Vertiport tätig sein. Dementsprechend sind infrastrukturelle Anforderungen aus den Arbeitsstättenrichtlinien zu beachten.

Arbeitspaket 3 - An- und Abflugrouten

1. Der Flugverkehr soll grundsätzlich in alle Himmelsrichtungen stattfinden können. Es wird planerisch keine An- und Abflugrichtung präferiert.
2. Die Flugsicherung soll genügend Freiräume zur Staffelung der Flugbewegungen haben, um den etablierten Flugverkehr und die Flugtaxi sicher abwickeln zu können.
3. Geräuschemissionen sollen sich im Umfeld des Vertiports möglichst weit verteilen. Es werden keine speziellen eVTOL-Korridore vorgesehen.
4. Basierend auf etablierten Verfahren soll der Flugbetrieb mit eVTOLs aufgenommen werden, erste Erfahrungen sollen gesammelt werden und die Zahl der Flugbewegungen soll bei steigendem Bedarf stetig gesteigert werden können.
5. Es ist vorgesehen die bereits etablierten Sichtflugverfahren (VFR) über die veröffentlichten VFR-Pflichtmeldepunkte zu nutzen.
6. Für das Höhenprofil sind die für den Sichtflugverkehr vorgeschriebenen Sicherheitsmindesthöhen sowie die auf die Pflichtmeldepunkte bezogenen maximalen An- und Abflughöhen zu beachten.
7. Die erhöhte Anzahl an Flugbewegungen innerhalb der Kontrollzone bedeutet eine signifikant komplexere Lage für die Flugsicherung. Die Auswirkungen auf den etablierten Flugverkehr müssen im Verlauf der weiteren Planungen durch eine detaillierte Kapazitätsanalyse bewertet werden.

Arbeitspaket 4 - Regularien und Prozeduren

1. Grundlage für den kommerziellen Betrieb eines Flugtaxis ist eine in Europa anerkannte Musterzulassung des LFZ.
2. Weiterhin benötigt das Luftfahrtunternehmen als Betreiber eine entsprechende Betriebsgenehmigung.
3. Im Rahmen dieser Zulassungsverfahren werden Verfahren und Bestimmungen definiert, sowie ggf. Auflagen erteilt, die Einfluss auf operative Abläufe und infrastrukturelle Anforderungen haben können.
4. Durch die geografische Lage des FKB, sollten keine Einschränkungen für einen grenzüberschreitenden Flugverkehr in die Benelux-Staaten bestehen.
5. Der Flugbetrieb ist unter Sichtflugbedingungen (VMC) durchzuführen. Sind diese Bedingungen nicht oder nicht mehr gegeben, so kann die Flugverkehrskontrolle unter Beachtung bestimmter Minima eine Freigabe nach Sonder-Sichtflugregeln (Special VFR) in der Kontrollzone erteilen.
6. Die relevanten Flächen auf dem Vertiport sind in Apron und Movement-Area aufzuteilen, um die Zuständigkeitsbereiche von DFS und Vertiport-Betreiber eindeutig zu beschreiben.
7. Die Verfahren zur Übergabe der LFZ bei den Rollvorgängen sind entsprechend zu beschreiben.
8. Die geplanten Betriebszeiten von 6:00 bis 22:00 Uhr setzen einen Flugbetrieb während der Nacht voraus. Dies ist bei geeigneten Wetterbedingungen möglich, allerdings benötigt der Zielflughafen des Flugtaxis auch eine entsprechende Zulassung. Dadurch schränkt sich – außer bei touristischen Rundflügen – die Auswahl der verfügbaren Ziele während der Nacht signifikant ein.
9. Ein Flugbetrieb unter Instrumentenflugbedingungen (IMC) ist nicht vorgesehen.

Arbeitspaket 5 - Flugzeug- und Passagierabfertigung

1. Zur Bereitstellung der Passagierabfertigungsprozessstellen ist eine Terminalhalle in jedem Fall erforderlich. Die Größe der Terminalhalle hängt von dem Umfang des Verkehrsdienstes ab und bedarf einer detaillierten Kapazitätsbetrachtung.
2. Die Erforderlichkeit einer Sicherheitskontrolle ist derzeit nicht geklärt. Die sicherheitsbezogenen Vorgaben werden durch den Bund erarbeitet und als Gesetze umgesetzt. Es bleibt abzuwarten, ob der Gesetzgeber für den Betrieb von Flugtaxis abweichende Sicherheitsvorgaben treffen wird. Da an Flugplätzen mit vergleichsweise geringem Passagieraufkommen derzeit der Flugbetrieb teilweise ohne Sicherheitskontrolle stattfindet, wird für die weitere Betrachtung zunächst angenommen, dass keine konventionelle Sicherheitskontrolle erforderlich sein wird.

3. Zur Gewährleistung eines sicheren Flugbetriebs müssen Gewicht und Schwerpunkt des Luftfahrzeugs korrekt ausgelegt werden. Daher muss vor dem Abflug sichergestellt werden, dass das maximal zulässige Abfluggewicht eingehalten wird und der Gepäckumfang den Vorgaben des Betreibers entspricht. Diese Vorgabe ist durch einen entsprechenden Prozess im Terminal, bei dem die passagier- und gepäckbezogenen Informationen erfasst und verarbeitet werden, umzusetzen.
4. Bei Flugrouten in benachbarte Schengen-Länder ist nach derzeitigem Kenntnisstand voraussichtlich keine Passkontrolle und kein Zoll erforderlich.
5. Es wird für die weitere Betrachtung der Abfertigungsprozesskette angenommen, dass die Abfertigung des Luftfahrzeuges inklusive des Boardingvorgangs parallel zum Batterieladevorgang stattfinden kann.
6. Zur Bewertung der gesamten Flugtaxiinfrastruktur, in welcher sämtliche Prozesse der Passagierabfertigung und des Flugbetriebs stattfinden, wird ein Simulationsmodell anhand der Software *Anylogic* erstellt und eine Simulation durchgeführt. Das Modell stellt ein Ergebnisprodukt der Studie dar und kann für vertiefende Kapazitätsanalysen erweitert und angepasst werden.
7. Die zuvor entwickelten Überlegungen und Konzepte der Machbarkeitsstudie, bilden zusammen mit recherchierten Prozessgrößen die Eingangsgrößen der Simulation. Als Ausgangsgrößen werden Warte- und Aufenthaltszeiten der Passagiere sowie die Leistungsfähigkeit der Flugtaxiinfrastruktur ermittelt.
8. Die Ergebnisse der Simulation verdeutlichen eine Überschreitung der Kapazität der Flugtaxiinfrastruktur. Bei der untersuchten Konfiguration einer Start-/Landeinfrastruktur liegt der Engpass derzeit bei der Start-/Lande-Fläche und der damit verbundenen Rollbahn. Die Wartezeit beträgt bei den getroffenen Annahmen durchschnittlich 233 Minuten bzw. 123 Minuten bei einer Kapazität je Fluggerät von zwei beziehungsweise vier Sitzplätzen. Eine Erweiterung der konzeptionierten Bodeninfrastruktur erscheint daher sinnvoll. Die Berechtigung für einen Flugtaxidienst ist bei der geschätzten Passagiernachfrage in jedem Fall gegeben.
9. Die Eingangsgrößen der Simulation unterliegen aufgrund des aktuell ständig fortschreitenden Entwicklungsstandes im Bereich der Urban Air Mobility einer starken Volatilität, sodass die Ergebnisse der Simulationsarbeit einer Validierung bedürfen und weiterführende simulative Untersuchungen erforderlich sind.

9.3 Handlungsempfehlungen und Bewertung der Machbarkeit

Grundsätzlich zeigt diese Studie, dass durchaus die Möglichkeit besteht, einen eVTOL-Hub auf der Landseite des FKB zu errichten. Entsprechende Flächen sind vorhanden und könnten baulich an

die zu erwartenden Anforderungen angepasst werden. Der Flächenbedarf hängt jedoch sehr stark von den zugrunde gelegten Abläufen ab und sollte dementsprechend genau geplant werden. Die daraus folgende Auswahl des Standorts, hat natürlich unmittelbaren Einfluss auf die Abläufe im Flugbetrieb. Unter Berücksichtigung der erforderlichen Hindernisfreiheiten, müssen Flugrouten und Verfahren für die An- und Abflüge so definiert werden, dass ausreichender Sicherheitsabstand zu anderem Flugverkehr sichergestellt werden kann. Dies erscheint nach erster Abstimmung mit der DFS möglich, muss jedoch in einer detaillierten Kapazitätsanalyse weiter untersucht werden.

Die zu erwartende Passagiernachfrage hängt natürlich von dem konkreten Angebot an Flugzielen sowie von Flexibilität und Preisgestaltung des Flugtaxidienstes ab. Wird dieses Angebot als akzeptabel vorausgesetzt, so ergibt sich ein gutes Potential an Nachfrage, sodass auch hier eine Machbarkeit am Standort Köln/Bonn gegeben ist. Als Verkehrsknotenpunkt in der Region, bietet sich der FKB als internationaler Verkehrsflughafen sicher an, diesen neuartigen Service frühzeitig zu etablieren. Gerade in einer Einführungsphase, ist eine hohe potentielle Passagiernachfrage entscheidend für den Erfolg eines solchen Projekts.

Die Entwickler und Hersteller der Fluggeräte zeigen sich bei ihren Planungen und Angaben naturgemäß recht optimistisch. Bei der Bewertung der Sachlage ist jedoch zu berücksichtigen, dass die konkreten gesetzlichen Rahmenbedingungen für die Zulassung der Fluggeräte, die Genehmigung zum kommerziellen Flugbetrieb und die Betriebsgenehmigung eines Vertiports aktuell noch nicht gegeben sind. Erst wenn diese Rahmenbedingungen geschaffen sind und entsprechende Genehmigungen für Fluggerät, Flugbetrieb und Vertiports erteilt sind, können belastbare Aussagen zur Leistungsfähigkeit eines Flugtaxi-Services gemacht werden. Antworten auf die zentralen Fragen, wie viele Passagiere, unter welchen Bedingungen, zu welchen Flugzielen transportiert werden können, müssen basierend auf den Ergebnissen der laufenden Entwicklungen und Gesetzgebungen in der Gesamtkonzeption hinterfragt werden. Beispielsweise kann eine bei der Musterzulassung geringer ausgefallene Nutzlast eines Fluggeräts oder eine Auflage bzgl. einzuhaltender Mindestladezustände der Batterien im operativen Flugbetrieb, erheblichen Einfluss auf die Mitnahme von Gepäck oder die Erreichbarkeit eines Flugziels haben.

Um die Komplexität der Abhängigkeiten und die Dynamik der Entwicklungen in der Gesamtkonzeption zu erfassen, empfiehlt sich eine strukturierte und iterative Vorgehensweise (Abbildung 29).



Abbildung 29: Iterationsmodell zur Gesamtkonzeption eines Vertiports am FKB

Diese Vorgehensweise bietet die Möglichkeit, auf technische Entwicklungen zu reagieren, gesetzliche Vorgaben zu berücksichtigen und unterschiedliche Betreiberkonzepte zu vergleichen. Infrastrukturelle Anforderungen können geplant und mit den Annahmen der Passagiernachfrage in einem Anwendungsszenario zusammengeführt werden. Eine Simulation dieses Anwendungsszenarios zeigt dann die Abhängigkeiten in der zeitlichen Folge, Engpässe im Ablauf und damit maximale Kapazitäten des betrachteten Szenarios.

Die Iterationsschritte 14, 15 und 16 zeigen die Abschätzung eines realistischen Passagieraufkommens sowie die Erfassung der erwarteten Investitions- und Betriebskosten, als kalkulatorische Grundlage für ein mögliches Geschäftsmodell. Diese Schritte können zukünftig basierend auf einem näher betrachteten Gesamtkonzept durchgeführt werden, sind aber nicht Gegenstand dieser technischen Machbarkeitsstudie.

9.4 Ausblick

Weltweit gibt es aktuell unterschiedliche Bemühungen, die gesetzlichen Rahmenbedingungen für den kommerziellen Betrieb von Flugtaxis zu erarbeiten. Insbesondere bei den Genehmigungen für die Fluggeräte, sind in absehbarer Zeit Musterzulassungen zu erwarten, die über eine Erlaubnis für den Testbetrieb eines Prototyps hinausgehen und auch einen gewerblichen Flugbetrieb erlauben. Luftfahrtunternehmen können dann, nach Erteilung einer entsprechenden Betriebsgenehmigung, einen kommerziellen Flugtaxidienst ggf. unter Einhaltung bestimmter Auflagen etablieren.

Der Flugbetrieb kann heute schon über die vorhandenen Verkehrsflughäfen, Landeplätze und Heliports erfolgen, so dass bereits eine flächendeckende infrastrukturelle Grundlage besteht. Allerdings wird es erforderlich sein, ein dichteres Netz an zusätzlichen speziell für eVTOLs zugelassenen Verטיפorts zu etablieren. Auch hier kann in absehbarer Zeit von gesetzlichen Vorgaben, in Anlehnung an die in dieser Studie gezeigten Vorschriften für Heliports, ausgegangen werden.

Bei der Entwicklung der Fluggeräte muss davon ausgegangen werden, dass zukünftige marktreife eVTOLs im Vergleich zu den heutigen Prototypen größer und schwerer werden, um die höheren Anforderungen an Reichweite, Nutzlast und Komfort erfüllen zu können. Damit einher ist ein Trend zu Hybridantrieben erkennbar, deren Verwendung viele technische Möglichkeiten und Potentiale eröffnet, aber bzgl. Entwicklung, Zulassung und Flugbetrieb zusätzliche Anforderungen kreieren wird.

Sehr großes Potential bietet indes die Möglichkeit der viel diskutierten autonomen Flugführung. Die dafür erforderlichen Technologien sind grundsätzlich heute schon beherrschbar und in den meisten Projekten fester Bestandteil der Konzeption. Diese Technologie ermöglicht nicht nur einen gewichts- und kostensparenden Flugbetrieb ohne Pilot, sondern auch eine sehr präzise Positionskontrolle durch die Flugsicherung sowie Flüge die unabhängig von den herrschenden Sichtbedingungen durchgeführt werden können.

Die Umsetzung eines autonomen Flugbetriebs erfordert jedoch neben der flächendeckenden Bereitstellung einer geeigneten bodengestützten Infrastruktur, eine vermutlich signifikante Neugestaltung der unteren Luftraumstruktur sowie ein entsprechendes Regelwerk zur sicheren Trennung von autonomen Flugtaxibetrieb und manuell durchgeführten VFR- bzw. IFR-Flügen. Technisch ist dies sicher umsetzbar, allerdings ist davon auszugehen, dass für die Entwicklung einsatzreifer Systeme, die konzeptionelle Gesamtplanung und eine Verabschiedung teilweise international abzustimmender Regelwerke noch mehrere Jahre benötigt werden.

Technologisch unproblematisch erscheint die Vorstellung, eine zeitlich planbare Bereitstellung der Flugtaxis am Abflugort sowie einen gewünschten Streckenverlauf zum Zielort, über entsprechende On-Demand-Buchungssysteme zu ermöglichen. Ähnliche Anwendungen dieser Art sind heute schon als App verfügbar und ermöglichen eine sehr hohe Flexibilität und Spontanität für die Nutzer. Es ist anzunehmen, dass die Schaffung derartiger Buchungsmöglichkeiten ein ausschlaggebendes

Kriterium für den Erfolg eines Flugtaxidienstes darstellt, insbesondere wenn das Angebot auf die örtlichen Gegebenheiten abgestimmt und in das öffentliche Verkehrskonzept integriert ist.

Die Verbreitung des Angebots an Flugtaxidiensten wird wahrscheinlich punktuell an einigen Verkehrsknotenpunkten mit einer potentiell hohen Passagiernachfrage beginnen. Vermutlich werden sich zunächst hochfrequentierte und damit lukrative einzelne Streckenführungen etablieren, die nach und nach zu einem größeren flächendeckenden Netzwerk anwachsen. Mit einer wachsenden Nutzung, werden auch Erfahrungen z. B. aus dem operationellen Flugbetrieb sowie mit der Akzeptanz in der Gesellschaft gesammelt werden können.

Verschiedene Betreiberkonzepte werden möglicherweise unterschiedliche Märkte abdecken. Beispielsweise erfordern innerstädtische Kurzstrecken ein deutlich anderes Flugprofil, als ein weiter entferntes Ziel z. B. in 150 km Entfernung. Die Fluggeräte sind in der Regel auf ein gewisses Einsatzspektrum optimiert und stoßen recht schnell bzgl. Nutzlast und Reichweite an ihre Grenzen. Denkbar sind hier auch Konzepte, die Flugtaxis verschiedener Hersteller kombinieren und so ein größeres Angebotsspektrum realisieren. Letztendlich werden Angebot und Nachfrage den Markt regulieren.

Für die Verkehrsflughäfen wird sich weiterhin die Frage stellen, wie diese neuartige Technologie in das lokale Verkehrskonzept integriert werden kann. Wenn die gesetzlichen Rahmenbedingungen zukünftig gegeben sind und einzelne eVTOL-Projekte eine Marktreife erlangen, ist es der Öffentlichkeit kaum vermittelbar, wenn ausgerechnet an einem Flughafen kein Flugtaxidienst eingerichtet würde. Vielmehr zeigen öffentliche Diskussionen und diverse Konzeptstudien, dass die Flughäfen eine entscheidende Rolle bei der Einführung dieser zukunftsweisenden Technologie spielen werden.

Die bei einem Flugtaxibetrieb zu erwartenden Umwelteinflüsse, insbesondere die heute noch nicht bekannten Spektren an Geräuschemissionen sowie die Häufigkeit der Flugbewegungen, werden natürlich Fragen bei der Bevölkerung im Umland eines Vertiports aufwerfen. Nach Angaben der eVTOL-Entwickler ermöglichen die elektrisch betriebenen Konzepte einen deutlich leiseren Flugbetrieb, beispielsweise im Vergleich zu herkömmlichen Hubschraubern. Allerdings sind auch hier zunächst belastbare Daten aus den Flugversuchen und Zulassungsdokumentationen erforderlich, um eine sachgerechte Diskussion führen zu können.

Die Vielfalt und Komplexität der noch zu klärenden Fragen zeigt, dass ein einzelnes Unternehmen allein nicht in der Lage sein wird, alle Antworten umfassend und zeitnah zu liefern. Realistisch betrachtet, kann ein flächendeckender Betrieb von Flugtaxis nur schrittweise mit einer übergeordnet koordinierten Planung eingeführt werden. Dies wird nur möglich sein durch ein hohes Maß an unternehmerischem Engagement, die Schaffung gesetzlicher Rahmenbedingungen, eine große gesellschaftliche Akzeptanz und letztendlich durch den politischen Willen in den einzelnen Regionen.

10 Literaturverzeichnis

Airbus. „Prospective Markets.“ 2018.

Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. „Ideen- und Förderaufruf zum Thema unbemannte Luftfahrtanwendungen und individuelle Luftmobilitätslösungen (UAS, Flugtaxi).“ Berlin, 2019.

Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung. „Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Hubschrauberflugplätzen.“ Bonn, 2005.

DFS Deutsche Flugsicherung GmbH. „Schriftliche Stellungnahme der DFS.“ 10. Januar 2020.

European Aviation Safety Agency. „Standardised European Rules of the Air (SERA).“ 2018.

European Commission. „Commission Regulation (EU) No 965/2012.“ 2012.

Federal Aviation Administration (FAA). „Helicopter Flying Handbook.“ Kapitel 9 - Basic Flight Maneuvers. 2019.

Flughafen Köln/Bonn GmbH. *Infos zum Parken*. 2019. <https://www.koeln-bonn-airport.de/parken-anreise/infos-zum-parken> (Zugriff am 30. Dezember 2019).

Horváth & Partners. „"Business Between Sky and Earth" - Assessing the Market Potential of Mobility in the 3rd Dimension.“ 2019.

International Civil Aviation Organization. „Airport Planning Manual - Doc 9184.“ 1987.

International Civil Aviation Organization. „Annex 14, Aerodromes – Volume II, Heliports. 4th Edition.“ 2013.

International Civil Aviation Organization. „Heliport Manual - Doc 9261.“ 1995.

Kadhiresan, Akshay R., und Michael J. Duffy. „Conceptual Design and Mission Analysis for eVTOL Urban Air Mobility Flight Vehicle Configurations.“ *AIAA Aviation 2019 Forum*. Dallas, Texas, 2019.

Mensen, Heinrich. „Planung, Anlage und Betrieb von Flugplätzen.“ Springer Vieweg, 2007.

Porsche Consulting. „The Future of Vertical Mobility.“ 2018.

Roland Berger GmbH. „Urban Air Mobility - The rise of a new mode of transportation.“ 2018.

Schneider, Marcel. „Monetäre Bewertung von Konfliktlösungsmaßnahmen im Eisenbahnverkehr mit Hilfe von Modellen der Betriebssimulation und Verkehrsmittelwahl.“ 2016.

Uber. „Fast-Forwarding to a Future of On-Demand Urban Air Transportation.“ 2016.

Zebala, Jakub, Piotr Ciepka, und Adam Reza. „Pedestrian acceleration and speeds.“ *Problems of Forensic Sciences*, 2012: Jahrgang 91. 227-234.

A Modal Split am Flughafen Köln/Bonn 2018

Tabelle 9: Verkehrsmittelwahl je Reiseanlass

Verkehrsmittel	Geschäftlich	Privat	Gesamt
Taxi	22,7%	5,9%	10,5%
Transfer/Shuttle	1,5%	1,0%	1,2%
Mietwagen	6,6%	0,9%	2,5%
Bahn	26,4%	35,2%	32,7%
Flugzeug	2,8%	7,9%	6,5%
PKW, geparkt	15,6%	12,4%	13,3%
PKW, gebracht	18,6%	31,7%	28,1%
Bus	5,1%	4,6%	4,7%
Carsharing	0,8%	0,5%	0,6%
Gesamt	100,0%	100,0%	100,0%

B Übersicht über derzeitige eVTOL-Projekte

B.1 Relevante eVTOL-Projekte

Aircraft	Stage of Development	Range [km]	Dimension [m]	Concept	Propulsion	Number of engines	Passenger Capacity	Cruise Speed [km/h]	MTOW [kg]	Under-carriage Concept	Flight Testing declared in TransportUp	Flight Testing declared in Evtol.news
CityAirbus	Flight Testing	50-60	8	Multicopter	8 propellers	8	4	120	2200	Skids		
Astro Elroy	Certification	-	4,20	Multicopter	16 propellers	16	2	70	360	Skids or Wheels	✓	✓
Boeing PAV	Flight Testing	80	9,14	Lift + Cruise	8 lifting, 1 pusher propeller	9	2	160	800	Skids	✓	✓
EAC Whisper	Flight Testing	-	-	Multicopter	8 rotors, 8 fixed pitch	8	1	-	-	Skids	✓	
Joby S4	Flight Testing	241	10,70	Vectored Thrust	6 tiltrotors, 6 propellers	6	4	322	-	Wheels		✓
Kittyhawk Cora	Flight Testing	40	10,97	Lift + Cruise	12 lifting, 1 pusher propeller	13	2	180	-	Wheels	✓	✓
Lilium Jet	Flight Testing	300	-	Vectored Thrust	36 ducted fans	36	4	300	460	Wheels	✓	✓
Tier 1 R44	Flight Testing	56	10,00	Rotorcraft	1 rotor	2	3	-	-	Skids		✓
Volocopter 2X	Flight Testing	27	9,15	Multicopter	18 rotors	18	1	100	450	Skids	✓	✓

B.2 Verzeichnis der Website *Electric VTOL News*TM

eVTOL Aircraft Directory

[Home](#) | [eVTOL Aircraft Directory](#)

Welcome to the World eVTOL Aircraft Directory, first started in 2016 when there were only a half-dozen known designs. Here, we have categorized all known electric and hybrid-electric vertical takeoff and landing (eVTOL) concepts.

Vectored Thrust

An eVTOL aircraft that uses any of its thrusters for lift and cruise.

1. [A³ Vahana](#)
2. [ACS Aviation](#)
3. [Advanced System Engineering – FIPSI BX4](#)
4. [Advanced System Engineering – FIPSI WX4](#)
5. [aeroG Aviation aG-4](#)
6. [Aeronext Flying Gondola](#)
7. [AgustaWestland Project Zero](#)
8. [AirisOne](#)
9. [AirspaceX MOBi](#)
10. [Aliptera APV-1](#)
11. [Aston Martin Volante](#)
12. [Auffer Design Flying Taxi](#)
13. [Aurora Flight Sciences LightningStrike](#) (defunct)
14. [Autonomous Flight Y6S](#)
15. [Aviaereo Aereo-bee](#)
16. [Bartini Flying Car](#)
17. [Bell Autonomous Pod Transport \(APT\) 70](#)
18. [Bell Nexus 4EX](#)
19. [Bell Nexus 6HX](#)
20. [Beta Technologies \(prototype\)](#)
21. [CFC AirCAR](#)
22. [Collaborative Mini-Bee](#)
23. [DeLorean Aerospace DR-7](#)

24. [Digi Robotics DroFire](#)
25. [Digi Robotics Droxi](#)
26. [Dufour aEro2](#)
27. [Eco'Trip](#)
28. [EVA X01](#)
29. [EVA Valkyr](#)
30. [Flexcraft Test Bench RPV](#)
31. [Flexcraft VERA](#)
32. [Future Transportation Concept](#)
33. [Gizio CellCraft G150](#)
34. [Gizio CellCraft G450](#)
35. [Gizio DDRH/DDVL](#)
36. [Gizio EJ11 ElectroJet](#)
37. [Grug Group Business eVTOL Jet](#)
38. [Grug Group Ghost X V1](#)
39. [Grug Group Ghost X V2.2](#)
40. [Grug Group Ghost X V3](#)
41. [Grug Group Personal eVTOL Jet](#)
42. [Grug Group SBX](#)
43. [HopFlyt Venturi](#)
44. [HopLite Aviation](#)
45. [Hoversurf Formula \(No wing\)](#)
46. [Hyundai S-A1](#)
47. [Imaginative Transvolution](#)
48. [Industry Network Cocoon X-1](#)
49. [JAXA Hornisse 2B](#)
50. [Jetoptera J2000](#)
51. [Joby Aviation Monarch \(defunct\)](#)
52. [Joby Aviation Lotus \(defunct\)](#)
53. [Joby Aviation S2 \(defunct\)](#)
54. [Joby Aviation S4](#)
55. [KARI PAV](#)
56. [KineticCo Aerospace and Advanced Technologies](#)
57. [Kitty Hawk Heaviside](#)
58. [Kronstadt Air Taxi](#)
59. [Lilium Jet](#)

60. [Lilium Jet "Eagle" Prototype](#) (defunct)
61. [Macchina Volontis Flying Car](#)
62. [Moller Skycar M200](#)
63. [Moller Skycar M400](#)
64. [MyDraco](#)
65. [NASA Greased Lightning](#)
66. [NEAE-GSI eVTOL-BUS](#)
67. [NEAE-GSI eVTOL-Taxi](#)
68. [Neoptera eOpter](#)
69. [NFT ASKA](#)
70. [Opener BlackFly](#)
71. [Overair \(Karem\) Butterfly](#)
72. [Paragon VTOL Aerospace T21 Raptor](#)
73. [PDRL AeroHans 2S](#)
74. [PDRL AeroHans 4S](#)
75. [Porsche \(unnamed\)](#)
76. [PteroDynamics Transwing](#)
77. [Ray VTOL Aircraft](#)
78. [Rolls-Royce EVTOL](#)
79. [Sabrewing Draco-2](#) (dormant)
80. [Sabrewing Rhaegal](#)
81. [Samad Aerospace HUMA](#)
82. [SKYLYS Aircraft AO](#)
83. [Starling Jet](#)
84. [Supervolant Pegasus](#)
85. [Terrafugia TF-2 Tiltrotor](#)
86. [Terrafugia TF-X](#)
87. [Tesla Concept Model V](#)
88. [Transcend Air Vy 400](#)
89. [Uber Elevate eCRM-001](#)
90. [Uber Elevate eCRM-004](#)
91. [VerdeGo Aero PAT200](#)
92. [Vertiia](#)
93. [Vickers WAVE eVTOL](#)
94. [Vimana AAV](#)
95. [Vision VTOL](#)

- 96. [Volerian](#)
- 97. [Voyzon e-VOTO](#)
- 98. [VRCO NeoXCraft](#)
- 99. [VTOL Aviation India Abhiyaan](#)
- 100. [XTI Aircraft Trifan 600](#)
- 101. [Zenith Altitude EOPA](#)
- 102. [Zeva Zero](#)

Hover Bikes/Personal Flying Devices

The following single-person eVTOL aircraft are considered to be in the general class of hover bikes or personal flying devices with the primary differentiation being that the pilot sits on a saddle or is standing, or something similar. All are multicopter-type wingless configurations.

- 1. [Aerexo ERA Aviabike – I, II](#)
- 2. [Air Transportation Technology Catapult One – I, II](#)
- 3. [ALI Technologies Hover Bike](#)
- 4. [ALI Technologies Xturismo](#)
- 5. [Aliptera ADR-1 Dragon Rider](#)
- 6. [Assen Aeronautics A1 Explorer \(defunct\)](#)
- 7. [Assen Aeronautics A2 Avenger](#)
- 8. [Athena Aero](#)
- 9. [Bay Zoltán Flike](#)
- 10. [Colin Furze Hoverbike](#)
- 11. [DragonAir Airboard 1 & 2 – II](#)
- 12. [Edea 22/2 Squid – II](#)
- 13. [ElectraFly ElectraFlyer](#)
- 14. [Electric Jet Aircraft EJ-1B \(defunct\)](#)
- 15. [Electric Jet Aircraft EJ-1S](#)
- 16. [Electric Jet Aircraft VertiCycle](#)
- 17. [EosFlight \(unnamed\)](#)
- 18. [FanFlyer](#)
- 19. [Flyt Aerospace FlytCycle](#)
- 20. [Georgia Tech HummingBuzz – I](#)
- 21. [Hero Flyer \(Defunct\)](#)
- 22. [Horus Hoverbike](#)

23. [HoverSurf Drone Taxi R-1](#)
24. [HoverSurf Scorpion](#)
25. [Innowings Aerospace PKOK](#)
26. [Jayu](#)
27. [Jetson Aero Speeder](#)
28. [Jump Aero](#)
29. [Kalashnikov \(unnamed\)](#)
30. [Kitty Hawk Flyer \(defunct\)](#)
31. [Leap Vantage – I](#)
32. [Malloy Aeronautics Hoverbike](#)
33. [NASA Puffin](#)
34. [Neva Aerospace AirQuadOne](#)
35. [Penn State University Blue Sparrow – I](#)
36. [Raven – III](#)
37. [Ray Research Dart Flyer](#)
38. [rFlight rWing](#)
39. [rFlight N217RL](#)
40. [Ribeiro Skyflow](#)
41. [Ryerson Helium – II, III](#)
42. [Scoop Pegasus 1 – I](#)
43. [Silverwing S1 – I, II](#)
44. [Talaria Hermes I](#)
45. [teTra 3 – I](#)
46. [Teledrone Backpack \(defunct\)](#)
47. [Teledrone Mark I \(defunct\) – II](#)
48. [Teledrone Mark II \(defunct\) – III](#)
49. [Teledrone Mark III](#)
50. [Texas A&M University Harmony – I, II](#)
51. [The Real Guys Flying Bathtub](#)
52. [Trek Aerospace FlyKart 2 – I, II](#)
53. [University of Kansas Mamba – I](#)
54. [WatFly Atlas – II](#)
55. [X-Aero X-Craft](#)

- I – GoFly Phase I winner (announced June 14, 2018)
- II – GoFly Phase II winner (announced March 26, 2019)

Lift + Cruise

Completely independent thrusters used for cruise vs. for lift without any thrust vectoring.

1. [Aergility ATLIS](#)
2. [Aerial Vehicle Automation Winged X8](#)
3. [AeroMobil 5.0](#)
4. [Ascendance Flight Technologies Atea](#)
5. [Aurora Flight Sciences Pegasus PAV](#)
6. [AutoFlightX BAT600](#)
7. [AutoFlightX V600](#)
8. [AutoFlightX V880 Cargo](#)
9. [Beta Technologies ALIA](#)
10. [Edea 22/1 Jay](#)
11. [Elroy Air](#)
12. [Embraer DreamMaker](#)
13. [Esprit Aeronautics Heavy Lift Cargo Utility Platform](#)
14. [Esprit Aeronautics Lancer ePAV](#)
15. [Flexcraft Utility Concept](#)
16. [Flyter PAC VTOL 420-120](#)
17. [Flyter PAC VTOL 720-200](#)
18. [Gestalt Aeronauticals VTOL](#)
19. [Hi-Lite Lynx-us](#)
20. [HoverSurf Formula](#)
21. [Leap Aeronautics](#)
22. [Napoleon Aero VTOL](#)
23. [Packwing \(Single Rotor\)](#)
24. [Packwing \(Twin Rotor\)](#)
25. [Pegasus Universal Aerospace Vertical Business Jet](#)
26. [PFV Personal Flying Vehicle #1](#)
27. [Pipistrel](#)
28. [Pipistrel Cargo Drone](#)
29. [Pipistrel 801](#)
30. [Sahand eVTOL Air Taxi](#)
31. [Swallow VTOL](#)
32. [Terrafugia TF-2.0 Lift + Push](#)

- 33. [Terrafugia TF-2](#)
- 34. [Terrafugia TF-2A](#)
- 35. [Toyota Cargo Drone](#)
- 36. [Uber Elevate eCRM-002](#)
- 37. [Uber Elevate eCRM-003](#)
- 38. [Urban Aeronautics CityHawk](#)
- 39. [VTOL Aviation India Abhigyaan NX](#)
- 40. [Wisk \(Kitty Hawk\) Cora](#)
- 41. [Zee Aero Z-P2](#)
- 42. [Zuri](#)

Wingless (Multicopter)

No thruster for cruise – only for lift.

- 1. [Aerial Vehicle Automation X8](#)
- 2. [Aerodyne Vector](#)
- 3. [Airbus Helicopters CityAirbus](#)
- 4. [AirCar](#)
- 5. [Alaka'i Technologies Skai](#)
- 6. [Alauda Airspeeder](#)
- 7. [Astro Aerospace Alta](#)
- 8. [Astro Aerospace Elroy](#)
- 9. [Avianovations Hepar](#)
- 10. [Axix SkyRider SuvA](#) (defunct)
- 11. [Baykar Cezeri](#)
- 12. [Boeing Cargo Aerial Vehicle](#)
- 13. [Cartivator SkyDrive](#)
- 14. [chAIR Multicopter](#)
- 15. [Davinci ZeroG](#)
- 16. [Dekatone](#) (unnamed)
- 17. [Drone Champions Big Drone](#)
- 18. [EAC Whisper](#)
- 19. [EAM Hel eCrane](#)
- 20. [EHang 116](#) (production aircraft)
- 21. [EHang 184](#) (defunct)
- 22. [EHang 216](#) (production aircraft)

23. [EXA Air Car](#)
24. [Flutr Motors Flutr](#)
25. [Garudeus Aviation KiiRA](#)
26. [Gizio EJ420 ElectroJet](#)
27. [Gravity X Koncepto Millenya](#)
28. [Imaginative Ambular](#)
29. [Jetpack Aviation](#) (unnamed)
30. [Kármán XK-1](#)
31. [Kenyan Passenger Drone](#)
32. [Kitty Hawk Flyer](#)
33. [LIFT Hexa](#)
34. [ManDrone](#)
35. [Moog SureFly](#)
36. [NEC Corporation eVTOL Testbed](#)
37. [Neo Aeronautics Crimson S8](#)
38. [Neo Aeronautics Crimson S8-SR](#)
39. [NUS Snowstorm](#)
40. [OVER LLC](#)
41. [PAV-X PAV-UL Ultralight](#) (defunct)
42. [PAV-X](#) (defunct)
43. [Piasecki Air Scout](#)
44. [Pop.Up Next](#)
45. [Skypod Aerospace Skypod](#)
46. [Sky-Hopper](#)
47. [Swarm Multicopter](#)
48. [Tecnalia](#)
49. [Varon V200](#)
50. [Vertical Aerospace Seraph](#)
51. [Vertical Aerospace](#) (proof of concept)
52. [Volerian](#)
53. [Volocopter 2X](#)
54. [Volocopter VC1/VC2](#) (defunct)
55. [Volocopter VC200](#)
56. [Volocopter VoloCity](#)
57. [Volocopter VoloDrone](#)

Electric Rotorcraft

An eVTOL aircraft that utilizes a helicopter frame

1. [Aquinea ENAC Volta](#)
2. [AutoGyro eCavalon](#)
3. [Carter Aviation Air Taxi](#)
4. [China Helicopter Research and Development Institute Electric Helicopter](#)
5. [Fraundorfer Aeronautics Tensor](#)
6. [Fraundorfer Aeronautics Tensor 600X](#)
7. [Hirobo Bit](#)
8. [Horizon AutoCopters Auto-Copter](#)
9. [Jaunt Air Mobility](#)
10. [PAL-V International Liberty](#)
11. [Piasecki PA-890](#)
12. [Prades GyroBike](#)
13. [Prades GyroPack](#)
14. [Sikorsky Firefly](#)
15. [Sikorsky VERT](#)
16. [Skyworks Global eGyro](#)
17. [Skyworks Global Vertijet](#)
18. [Solution F](#)
19. [Tier One Modified Robinson R44](#)
20. [Vinati F-Helix](#)

Quelle: *Electric VTOL News*TM | <https://evtol.news> | Stand: 25.04.2020

C Anforderungskatalog

C.1 Einleitung

Mit eVTOLs durchgeführte Flugtaxidienste werden mehr und mehr zur Realität der Gegenwart anstatt einem erst in ferner Zukunft absehbaren Konzept. Es wird erwartet, dass Regulierungsorganisationen wie die ICAO, die EASA und die *Federal Aviation Administration* (FAA) Normen und Vorschriften entwickeln werden, die speziell auf die Entwicklung der Infrastruktur für den Betrieb von eVTOLs ausgerichtet sind. Bislang wurde jedoch noch kein Dokument herausgegeben, das Normen oder Vorschriften speziell für diesen Zweck enthält.

Dieses Dokument basiert daher auf dem aktuell fliegenden Luftfahrzeug, das dem eVTOL am ähnlichsten ist: dem Hubschrauber. Alle hier angegebenen Anforderungen sind Anpassungen bestehender Vorschriften, die für Hubschrauberlandeplätze gelten. Das wichtigste Dokument, auf dem dieser Anforderungskatalog basiert, ist das *ICAO Annex 14, Volume II Heliports*. Zu einem geringeren Anteil basiert das Dokument auf dem ICAO *DOC 9261, Helipport Manual* und dem deutschsprachigen Dokument *Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Genehmigung der Anlage und des Betriebs von Hubschrauberflugplätzen*. Für die Entwicklung dieses möglichen Anforderungskatalogs wurden die für den Betrieb von Hubschraubern auf einem Heliport geltenden Anforderungen an den Betrieb von eVTOLs auf einem Vertiport angepasst. Alle Anforderungen sind ausschließlich auf die Entwicklung der für den Betrieb von eVTOLs erforderlichen Infrastruktur ausgerichtet.

Das Dokument ist wie folgt aufgebaut: Kapitel C.1 beinhaltet eine kurze Einleitung, die getroffenen Annahmen sowie eine Liste von Definitionen und Maßangaben, die zum Verständnis dieses Dokuments erforderlich sind. In Kapitel C.2 werden alle Daten, die für einen Vertiport voraussichtlich benötigt werden, aufgelistet. Die Kapitel C.3 bis C.6 enthalten Anforderungen an die physikalischen Eigenschaften, Hindernisbegrenzungsflächen, optische Hilfen und Notfallmaßnahmen. Die in diesen Kapiteln enthaltenen Anforderungen sind in Form von Gliederungspunkten formuliert, um das Lesen zu erleichtern. Es ist zu beachten, dass die wichtigsten Anforderungen im Rahmen der Machbarkeitsstudie, insbesondere der Standortauswahl für den Bau eines Vertiports, in den Kapiteln C.3 und C.6, den physikalischen Eigenschaften und den Hindernisbegrenzungsflächen, dargestellt werden.

C.1.1 Annahmen

Dieses Dokument wurde unter Berücksichtigung der spezifischen Umgebung des Flughafens speziell für einen landseitigen Vertiport am FKB entwickelt. Es wird daher davon ausgegangen, dass ein auf dem Gelände des FKB zu errichtende Vertiport auf einer erhöhten Struktur gebaut wird, da sich alle für die Infrastruktur des Vertiports infrage kommenden Standorte auf einer erhöhten Gebäudestruktur befinden. Es ist zu beachten, dass alle Anforderungen an einen Vertiport in erhöhter

Lage strenger oder mindestens gleichwertig im Vergleich zu den Anforderungen an einen Vertiport auf Erdoberflächenniveau sind. Daher wird ein auf Grundlage dieses Katalogs gebauter Vertiport auf Erdoberflächenniveau ebenfalls alle zu erwartenden Anforderungen erfüllen. Darüber hinaus beruhen die Anforderungen in diesem Dokument auf der Annahme, dass alle Operationen am Vertiport unter VMC durchgeführt werden.

Die für Hubschrauber vorgesehenen Vorschriften unterscheiden je nach Leistungsfähigkeit des Hubschraubers drei Leistungsklassen, falls es während der finalen An- oder Abflugphase des Fluges zu einem kritischen Triebwerksausfall kommt. Normalerweise verfügen eVTOLs über mehrere Triebwerke, die gleichzeitig für Auftrieb sorgen. Folglich kann angenommen werden, dass das eVTOL bei einem Triebwerksausfall weiterhin dazu in der Lage ist, sicher zu landen. Diese Definition ist identisch zu der Definition eines Helikopters, der in Leistungsklasse 1 operiert. Daher wurden die Anforderungen an den Betrieb von Hubschraubern der Leistungsklasse 1 in dieses Dokument übernommen.

Zur besseren Verständlichkeit dieses Dokuments sind Anforderungen, die sich nur auf erhöhte Vertiports beziehen **gelb hinterlegt**. Die **blaue Schattierung** wird verwendet, wenn die Anforderungen sich auf ein eVTOL gemäß der Helikopter-Leistungsklasse 1 beziehen.

C.1.2 Definitionen

Bodeneffekt: Die Zunahme des aerodynamischen Auftriebs, den ein Flugzeug beim Fliegen in Bodennähe erfährt.

Erhöhter Vertiport: Ein Vertiport auf einer erhöhten Gebäudestruktur an Land.

eVTOL: Ein Fluggerät mit der Fähigkeit des vertikalen Startens und Landens mit elektrischem oder hybrid-elektrischem Antrieb.

Endanflug- und Startfläche (FATO): Eine definierte Fläche, über der die Endphase des Anflugmanövers abgeschlossen wird und von dem aus Startmanöver durchgeführt werden.

Hindernis: Alle festen (vorübergehend oder dauerhaft) und mobilen Objekte oder Teile davon, die:

- sich auf einer Fläche befinden, die für die Oberflächenbewegung von Flugzeugen bestimmt ist;
- sich über eine definierte Oberfläche erstrecken, die zum Schutz von Luftfahrzeugen im Flug bestimmt ist;
- außerhalb dieser definierten Oberflächen stehen und als eine Gefahr für die Flugsicherheit eingestuft wurden.

Lande- und Abhebefläche (TLOFs): Ein Bereich, auf dem ein eVTOL landen oder abheben kann.

Leistungsklasse 1: Leistungsklasse eines Hubschraubers, die es ihm ermöglicht, bei einem kritischen Ausfall der Triebwerke auf der Startabbruchstrecke zu landen oder den Flug zu einem geeigneten Landeplatz sicher fortzusetzen, je nachdem, wann der Ausfall eintritt.

Leistungsklasse 2: Leistungsklasse eines Hubschraubers, die es ihm ermöglicht, im Falle eines kritischen Ausfalls der Triebwerke den Flug sicher fortzusetzen, es sei denn, der Ausfall tritt vor einem bestimmten Punkt nach dem Start oder nach einem bestimmten Punkt vor der Landung auf, wobei in diesem Fall eine Zwangslandung erforderlich werden kann.

Leistungsklasse 3: Leistungsklasse eines Hubschraubers, die es ihm im Falle eines Ausfalls der Triebwerke an einer beliebigen Stelle im Flugprofil nicht ermöglicht, den Flug fortzusetzen und somit eine Notlandung durchgeführt werden muss.

Maximum Take-Off Mass (MTOM): Das maximale Abfluggewicht des Luftfahrzeugs.

Oberfläche im dynamischen Belastungsfall: Eine Oberfläche, die in der Lage ist, die Lasten zu tragen, die von einem eVTOL erzeugt werden, der notlanden muss. Folgende Lasten sollten berücksichtigt werden:

- **eVTOL:** $2,5 \times R \times MTOM$, als zwei Punktlasten an den Radmittelpunkten verteilt, wobei der Wert von R vom Strukturreaktionsfaktor abhängig ist (Mittelwert für R ist 1,3);
- **Gesamte Überlagerungslast:** Um neben den Radlasten auch Schnee-, Personen, Fracht-, Ausrüstungslasten etc. zu berücksichtigen, ist eine zusätzliche Last von $1,4 \times 0,5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ für die gesamte Oberfläche anzunehmen;
- **Seitenlast:** $1,6 \times MTOM/2$; wird horizontal als Punktlast in jede Richtung zusammen mit der Windlast angesetzt;
- **Scherlast:** $2,5 \times R \times MTOM$; verteilt auf eine Belastungsfläche von $64,5 \times 10^3 \text{ (mm}^2\text{)}$.

Oberfläche im statischen Belastungsfall: Eine Oberfläche, die in der Lage ist, die Lasten eines auf ihr befindlichen eVTOLs zu tragen. Folgende Lasten sollten berücksichtigt werden:

- **eVTOL:** $1,6 \times MTOM$, verteilt als zwei Punktlasten an den Radmittelpunkten;
- **Gesamte Überlagerungslast:** Um neben den Radlasten auch Schnee-, Personen, Fracht-, Ausrüstungslasten etc. zu berücksichtigen, ist eine zusätzliche Last von $1,6 \times 1,5 \text{ (kN/m}^2\text{)}$ für die gesamte Oberfläche anzunehmen.

Rollweg: Ein definierter Weg, der für Bodenbewegungen der eVTOLs vorgesehen ist.

Rollweg Taxi-Route: Ein definierter Weg, der für Bodenbewegungen von einem Punkt zu einem anderen Punkt an einem Vertiport vorgesehen ist. Eine Taxi-Route beinhaltet einen Rollweg, welcher in der Mitte der Taxi-Route liegt.

Rotorabwind: Die nach unten gerichtete Ablenkung eines Luftstroms durch einen Flügel oder einen Rotor.

Schutzfläche: Eine Fläche innerhalb der Taxi-Routen und um Standplätze herum, die für die Einhaltung der Mindestabstände zu Objekten, die FATO oder anderen Taxi-Routen und Standplätzen sorgt und so einen sicheren Betrieb von eVTOLs gewährleistet.

Schwebeflugweg: Ein definierter Weg, der für den Betrieb eines eVTOLs im Schwebeflug vorgesehen ist.

Schwebeflug Taxi-Route: Ein definierter Weg, der für den Schwebeflug von einem Punkt zu einem anderen Punkt an einem Vertiport vorgesehen ist. Eine Taxi-Route beinhaltet einen Schwebeflugweg, welcher in der Mitte der Taxi-Route liegt.

Sicherheitsbereich: Ein definierter, die FATO umgebender Bereich an einem Vertiport, der frei von Hindernissen ist, die nicht für die Flugsicherung erforderlich sind.

Standplatz: Eine ausgewiesene Fläche auf einem Vorfeld eines Vertiports, die zum Parken eines eVTOLs verwendet werden soll.

Vertiport auf Erdoberflächenniveau: Ein Vertiport, der sich auf dem Boden oder auf einer Struktur auf der Oberfläche von Wasser befindet.

Vertiport: Ein Flugplatz oder eine definierte Fläche auf einer Struktur, welche ganz oder teilweise für die Ankunft, Abflug und Oberflächenbewegung von eVTOLs genutzt werden soll.

Zerbrechliches Objekt: Ein Objekt mit geringer Masse, das so gebaut ist, dass es bei einem Aufprall bricht, sich verformt oder nachgibt, sodass es nur eine minimale Gefahr für das eVTOL darstellt.

C.1.3 Maßangaben

D: Die größte Gesamtabmessung des größten eVTOL für das ein Vertiport bestimmt ist, unter Berücksichtigung aller beweglichen Teile, wenn das eVTOL in Betrieb ist.

Gesamtbreite (Overall Width: OW): Die Gesamtbreite des größten eVTOLs, welches am Vertiport in Betrieb ist. Die Gesamtbreite beinhaltet alle während des Betriebs starren und beweglichen Teile.

Fahrwerksbreite (Undercarriage Width: UCW): Die Breite der physikalischen Komponenten eines eVTOLs, die dazu bestimmt sind, mit der Oberfläche in Kontakt zu kommen.

C.2 Vertiport Daten

Hinweis: Die Aussagen in diesem Kapitel werden unter der Annahme gemacht, dass die Regeln für Vertiports aus den Regeln für Heliports abgeleitet werden können. Die hier angegebenen Regeln sind daher nur eine Abschätzung der Regeln, die wahrscheinlich für Vertiports gelten.

Die Genauigkeitsanforderungen für Daten in der Luftfahrt basieren auf einem Sicherheitslevel von 95 Prozent. In diesem Zusammenhang sind drei Arten von Positionsdaten zu ermitteln: Vermessungspunkte (z.B. FATO-Schwelle), berechnete Punkte (mathematische Berechnungen aus den bekannten Vermessungspunkten von Raumpunkten und Fixpunkten) und definierte Punkte (z.B. Grenzpunkte). Die Angaben zu geografischen Längen und Breiten sind entsprechend dem *World Geodetic System-1984* (WGS-84) auszudrücken und dem Flugberatungsdienst zu übermitteln.

C.2.1 Bezugspunkt des Vertiports

- Für einen Vertiport oder einen Landeplatz ist ein Vertiportbezugspunkt festzulegen.
- Der Bezugspunkt muss sich in der Nähe des anfänglichen oder geplanten geometrischen Zentrums des Vertiports oder der Landeposition befinden und normalerweise dort verbleiben, wo er zuerst festgelegt wurde.
- Die Position des Bezugspunkts wird ermittelt und dem Luftberatungsdienst in Grad, Minuten und Sekunden gemeldet.

C.2.2 Höhen des Vertiports

- Die Höhe des Vertiports wird gemessen und dem Flugberatungsdienst mit einer Genauigkeit von einem halben Meter oder Fuß zu melden.
- Die Höhe der TLOF und/oder die Höhe und jeder Schwelle der FATO sind zu messen und dem Flugberatungsdienst mit einer Genauigkeit von einem halben Meter oder Fuß zu melden.

C.2.3 Abmessungen und Informationen zum Vertiport

Die folgenden Daten sind wahrscheinlich für jeden Vertiport zu messen oder gegebenenfalls zu beschreiben:

- Art des Vertiports: auf Erdoberflächenniveau oder erhöhter Vertiport;
- TLOF: Maße auf den nächsten Meter oder Fuß, Neigung, Oberflächentyp, Tragfähigkeit in Tonnen (1000 kg);

- FATO: Art der FATO, wahre Ausrichtung bis zu einem Hundertstel Grad, Bezeichnung (falls notwendig), Länge und Breite, aufgerundet auf den nächsten Meter oder Fuß, Neigung und Oberflächentyp;
- Sicherheitsbereich: Länge, Breite und Oberflächenbeschaffenheit;
- Rollwege und Schwebeflugwege: Bezeichnung, Breite, Oberflächentyp;
- Vorfeld: Oberflächentyp und Standplätze;
- visuelle Hilfsmittel für Anflugverfahren, Markierung und Beleuchtung der FATO, TLOF, Rollwege, Schwebeflugwege und Standplätze.

Die geografischen Koordinaten der folgenden Objekte sind zu messen und dem Flugberatungsdienst in Grad, Minuten, Sekunden und Hundertstelsekunden zu melden:

- geometrisches Zentrum der TLOF;
- Punkte der Mittellinie der Rollwege;
- Jeder Standplatz;
- Objekte und Hindernisse innerhalb der Vertiportgrenze.

Darüber hinaus sind dem Flugberatungsdienst die Höhenlage, der Typ, die Kennzeichnung und die Beleuchtung (falls vorhanden) von Hindernissen zu melden.

C.2.4 Festgelegte Strecken

Die folgenden Entfernungen sind für einen Vertiport, sofern flugbetrieblich erforderlich, auf den nächsten Meter oder Fuß anzugeben:

- Verfügbare Startstrecke (Take Off Distance Available: TODA);
- Verfügbare Startabbruchstrecke (Rejected Take Off Distance Available: RTODA);
- Verfügbare Landestrecke (Landing Distance Available: LDA).

C.2.5 Informationspflicht des Vertiportbetreibers

Um sicherzustellen, dass der Flugberatungsdienst und andere Behörden Informationen erhalten, die es ihnen ermöglichen, aktuelle Fluginformationen bereitzustellen, sollten Vereinbarungen zwischen den Behörden und den Vertiportbetreibern getroffen werden, um einen rechtzeitigen Informationsaustausch zu gewährleisten:

- Informationen über die Bedingungen am Vertiport;

- Den Betriebszustand der zugehörigen Einrichtungen und Anlagen, Dienste und Navigationshilfen;
- Alle anderen Informationen von betrieblicher Bedeutung.

C.3 Physikalische Eigenschaften

Hinweis: Die Aussagen in diesem Kapitel werden unter der Annahme gemacht, dass die Regeln für Vertiports aus den Regeln für Heliports abgeleitet werden können. Die hier angegebenen Regeln sind daher nur eine Abschätzung der Regeln, die wahrscheinlich für Vertiports gelten.

Dieses Kapitel enthält die Anforderungen an die verschiedenen definierten Bereiche innerhalb eines Vertiports.

C.3.1 FATO

- Ein Vertiport muss mindestens eine FATO haben.
- Eine FATO muss hindernisfrei sein.
- Eine FATO muss ausreichend groß sein, um einen Kreis mit einem Minstdurchmesser von $1 \times D$ einzuschließen.
- Die Neigung der FATO darf in keine Richtung größer als 2% sein, aber muss groß genug sein, um eine ausreichende Entwässerung zu gewährleisten.
- Eine FATO muss dem dynamischen Belastungsfall standhalten.
- Die Oberfläche einer FATO muss frei von Unregelmäßigkeiten sein, die den Start und die Landung von eVTOLs beeinträchtigen würden.
- Befindet sich in der Nähe der FATO eine Start- und Landebahn oder ein Rollweg und ist ein gleichzeitiger Flugbetrieb geplant, darf der Abstand zwischen dem Rand der Start- und Landebahn oder dem Rand des Rollweges zum Rand der FATO nicht kleiner sein als:
 - 60 m sein, bei einer Masse des Flugzeuges oder eVTOLs bis zu 3175 kg (nicht eingeschlossen);
 - 120 m sein, bei einer Masse des Flugzeuges oder eVTOLs zwischen 3175 kg und 5760 kg (nicht eingeschlossen);
 - 180 m sein, bei einer Masse des Flugzeuges oder eVTOLs zwischen 5760 kg und 100000 kg (nicht eingeschlossen);
 - 250 m sein, bei einer Masse des Flugzeuges oder eVTOLs von 100000 kg oder mehr.

- Wenn es für eines der am Vertiport betriebenen eVTOLs notwendig erscheint, sollte die FATO so gestaltet sein, dass Bodeneffekt entstehen kann.
- Wenn es für eines der am Vertiport betriebenen eVTOLs notwendig erscheint, sollte die FATO dem Rotorabwind standhalten.

C.3.2 TLOF

- Eine TLOF muss innerhalb der FATO liegen.
- Zusätzliche TLOFs können mit Standplätzen kombiniert werden.
- Die Abmessungen und Eigenschaften der TLOF, die in der FATO liegt, müssen die gleichen sein wie die der FATO.
- Eine TLOF muss von ausreichender Größe sein, um einen Kreis mit einem Durchmesser von nicht weniger als $0,83 \times D$ zu beinhalten.
- Die Neigung der TLOF darf in keine Richtung größer als 2% sein, muss aber groß genug sein, um eine ausreichende Entwässerung zu gewährleisten.
- Eine TLOF muss dem dynamischen Belastungsfall standhalten.

C.3.3 Sicherheitsbereich

- Eine FATO muss von einem Sicherheitsbereich umgeben sein. Dieser muss nicht notwendigerweise befestigt sein.
- Ein Sicherheitsbereich muss sich von der Außengrenze der FATO nach außen um eine Länge von mindestens 3 m oder $0,25 \times D$ erstrecken, je nachdem, welcher Wert größer ist.
- Außerdem gilt für den Außenumfang:
 - Jede Außenseite des Sicherheitsbereichs muss mindestens $2 \times D$ betragen, wenn das FATO vierseitig ist;
 - Der Außendurchmesser des Sicherheitsbereichs muss mindestens $2 \times D$ betragen, wenn das FATO kreisförmig ist.
- Ein Sicherheitsbereich muss eine geschützte seitliche Schräge aufweisen, die 45 Grad vom Rand des Sicherheitsbereiches bis zu einer Entfernung von 10 m ansteigt. Deren Oberfläche darf nicht von Hindernissen durchdrungen werden, mit der Ausnahme, dass Hindernisse, die sich nur auf einer Seite der FATO befinden, in die Oberfläche der seitlichen Schräge eindringen dürfen.

- Im Sicherheitsbereich ist kein festes Objekt erlaubt, mit Ausnahme von zerbrechlichen Gegenständen, die sich aufgrund ihrer Funktion in dem Bereich befinden müssen. Während des eVTOL-Betriebes dürfen sich keine beweglichen Gegenstände in einem Sicherheitsbereich befinden.
- Objekte, deren Funktion es erfordert, dass sie sich im Sicherheitsbereich befinden, dürfen eine Höhe von 25 cm über dem Rand der FATO nicht überschreiten und müssen unter einer Ebene liegen, die vom Rand der FATO nach außen und oben um 5% geneigt ist.
- Die Oberfläche des Sicherheitsbereiches darf - wenn dieser befestigt ist - eine Steigung von 4% vom Rand der FATO nach außen nicht überschreiten.
- Die Oberfläche des an die FATO angrenzenden Sicherheitsbereichs muss mit der FATO zusammenhängend sein.
- Der Sicherheitsbereich sollte von einem Überrollschutz von 25 cm Höhe umgeben sein.

C.3.4 Rollwege und Taxi-Routen

- Die Breite eines Rollweges muss mindestens $2 \times UCW$ betragen.
- Die Oberfläche der Rollwege muss dem statischen Belastungsfall standhalten.
- Die Oberfläche der Rollwege darf eine Querneigung von 2% und eine Längsneigung von 3% nicht überschreiten.
- Der Rollweg ist auf einer Taxi-Route zu zentrieren.
- Die Schutzfläche der Taxi-Route muss sich von der Mittellinie ausgehend um mindestens $1 \times OW$ in beide Richtungen erstrecken.
- Der Teil der Taxi-Route, der sich symmetrisch auf jeder Seite der Mittellinie ab einem Abstand von $0,5 \times OW$ befindet, bildet die äußerste Grenze der Schutzfläche.
- Um einen gleichzeitigen Betrieb mehrerer Rollwege zu gewährleisten, dürfen sich die jeweiligen Schutzflächen nicht überlappen.
- Auf einer Taxi-Route sind keine Gegenstände erlaubt, mit Ausnahme von zerbrechlichen Gegenständen, die aufgrund ihrer Funktion darauf angeordnet sein müssen.
- Eine ausreichende Entwässerung muss gewährleistet werden.
- Wenn es für eines der am Vertiport betriebenen eVTOLs notwendig erscheint, sollte die Oberfläche der Taxi-Routen dem Rotorabwind standhalten.

C.3.5 Schwebeflugwege und Taxi-Routen

- Die Breite eines Schwebeflugwegs muss mindestens $3 \times UCW$ betragen.

- Die Oberfläche der Schwebeflugwege muss dem **dynamischen Belastungsfall** standhalten.
- Die Oberfläche der Schwebeflugwege darf eine Querneigung von **2%** und eine Längsneigung von 7% nicht überschreiten.
- Der Schwebeflugweg ist auf einer Taxi-Route zu zentrieren.
- Die Taxi-Route muss sich von der Mittellinie ausgehend um mindestens $1 \times OW$ in beide Richtungen erstrecken.
- Der Teil der Taxi-Route, der sich symmetrisch auf jeder Seite der Mittellinie ab einem Abstand von $0,5 \times OW$ befindet, bildet die äußerste Grenze der Schutzfläche.
- Um einen gleichzeitigen Betrieb mehrerer Schwebeflugwege zu gewährleisten, dürfen sich die jeweiligen Schutzflächen nicht überlappen.
- Auf einer Taxi-Route sind keine Gegenstände erlaubt, mit Ausnahme von zerbrechlichen Gegenständen, die aufgrund ihrer Funktion darauf angeordnet sein müssen.
- Eine ausreichende Entwässerung muss gewährleistet werden.
- Wenn es für eines der am Vertiport betriebenen eVTOLs notwendig erscheint, sollten die Schwebeflugwege so beschaffen sein, dass Bodeneffekt entstehen kann.
- Wenn es für eines der am Vertiport betriebenen eVTOLs notwendig erscheint, sollte die Oberfläche der Taxi-Routen dem Rotorabwind standhalten.

C.3.6 Standplätze

- Die Neigung auf einem Standplatz darf in jede Richtung 2% nicht überschreiten.
- Ein Standplatz muss so groß sein, dass er einen Kreis mit einem Durchmesser von mindestens $1,2 \times D$ enthält.
- Wird ein Standplatz unter anderem für eine Durchfahrt genutzt, so ist die Mindestbreite des Standplatzes und des dazugehörigen Schutzbereiches die der Taxi-Route.
- Wenn ein Standplatz zum Drehen verwendet wird, darf die Mindestabmessung des Standplatzes und der Schutzfläche nicht kleiner als $2 \times D$ sein. Der umgebende Schutzbereich beginnt am Rand des Standplatzes und erstreckt sich über eine Distanz von mindestens $0,4 \times D$.
- Bei gleichzeitigem Betrieb darf sich der Schutzbereich der Standplätze und der damit verbundenen Taxi-Routen nicht überschneiden.
- Auf einem Standplatz und dem dazugehörigen Schutzbereich sind keine festen Gegenstände erlaubt.

- Der innere Bereich des Standplatzes muss dem **dynamischen Belastungsfall** standhalten und mindestens folgende Maße haben:
 - $0,83 \times D$;
 - Wenn der Standplatz für Durchfahrten benutzt wird, soll er die gleiche Breite haben wie der Rollweg.
- Ein Standplatz muss ausreichende Entwässerung gewährleisten.
- Wenn es für eines der am Vertiport betriebenen eVTOLs notwendig erscheint, sollten die Standplätze so beschaffen sein, dass der Bodeneffekt eintreten kann.

C.3.7 Sicherheitsnetz

- Sofern sich an den Rändern des Vertiports ein steiler Abhang befindet und die freie Bewegung von Fahrgästen oder Personal nicht ohne Risiko gewährleistet werden kann, ist ein Sicherheitsnetz anzubringen.
- Das Netz sollte sich mindestens 1,5 m von den Rändern des Sicherheitsbereichs nach außen erstrecken und in der Lage sein, einer aus 1,0 m Höhe fallenden 75 kg schweren Masse unbeschadet standzuhalten.
- Es soll für eine Person, die in das Netz hineinfällt, einen Hängematteneffekt und keinen Trampolineffekt bieten.

C.4 Hindernisbegrenzungsflächen

Hinweis: Die Aussagen in diesem Kapitel werden unter der Annahme gemacht, dass die Regeln für Vertiports aus den Regeln für Heliports abgeleitet werden können. Die hier angegebenen Regeln sind daher nur eine Abschätzung der Regeln, die wahrscheinlich für Vertiports gelten.

Die in diesem Kapitel enthaltenen Anforderungen zielen darauf ab, den Luftraum um die Vertiports so zu beschreiben, dass der beabsichtigte eVTOL-Betrieb sicher durchgeführt werden kann. Außerdem soll verhindert werden, dass Vertiports durch das Hinzukommen von Hindernissen ihre Nutzbarkeit verlieren. Dies wird durch die Einrichtung einer Reihe von Hindernisbegrenzungsflächen erreicht, welche die Grenzen definieren, an die Objekte in den Luftraum hineinragen dürfen.

C.4.1 An- und Abflugfläche

- Eine An- und Abflugfläche ist eine schräge Ebene, eine Kombination von Ebenen, oder, wenn es sich um eine Kurve handelt, eine komplexe Oberfläche, die vom Ende des Sicherheitsbereiches nach oben geneigt und auf einer Linie zentriert ist, die durch den Mittelpunkt der FATO verläuft.

- Die Begrenzungen einer An- und Abflugfläche sind:
 - Eine innere Begrenzungslinie, die horizontal verläuft und als Länge der Summe aus der Mindestbreite der FATO und den Zusätzen für den Sicherheitsbereich entspricht. Sie verläuft senkrecht zur Mittellinie der An- und Abflugfläche und befindet sich am äußeren Rand des Sicherheitsbereiches;
 - Zwei seitlichen Begrenzungslinien, die ihren Ursprung an den Enden der Innenkante haben und gleichmäßig mit einer bestimmten Neigung von der Vertikalebene aus divergieren;
 - Eine äußere Begrenzungslinie, die horizontal verläuft und senkrecht zur Mittellinie auf einer Höhe von 152 m (500 ft) über der FATO liegt.
- Die Höhe der Innenkante ist die Höhe der FATO an dem Punkt der Innenkante, der von der Mittellinie der An- und Abflugfläche geschnitten wird.
- Die Steigung(en) der An- und Abflugfläche sind in der vertikalen Ebene zu messen, welche die Mittellinie enthält.
- Wenn die An- und Abflugfläche eine Kurve enthält, muss die Oberfläche eine komplexe Ebene sein, die die horizontalen Normalvektoren zur Mittellinie enthält. Die Vorgaben für die Neigungen der Mittellinie entsprechen dem Fall einer geraden An- und Abflugfläche.
- Im Falle einer An- und Abflugfläche mit einer Kurve darf die Fläche nicht mehr als einen gekrümmten Abschnitt enthalten.
- Wenn ein gekrümmter Abschnitt einer An- und Abflugfläche vorgesehen ist, darf die Summe aus dem Radius des Bogens, der die Mittellinie innerhalb der Kurve definiert, und der Länge des geraden Abschnittes, der an der inneren Begrenzungslinie beginnt, nicht weniger als 575 m betragen.
- Jede Veränderung einer An- und Abflugfläche in Richtung der Mittellinie ist so auszulegen, dass ein Kurvenradius von weniger als 270 m nicht erforderlich ist.

C.4.2 Maße und Steigungen

Tabelle 10: Bemessungsparameter der An- und Abflugfläche

Oberflächen und Maße	
Länge der inneren Begrenzungslinie	Breite des Sicherheitsbereiches
Lage der inneren Begrenzungslinie	Grenze des Sicherheitsbereiches
Divergenz bei Tagesnutzung	10%

Divergenz bei Nachtnutzung	15%
Länge	3386 m
Steigung	4,5%
Breite der äußeren Begrenzungslinie (Tag)	$7 \times D$
Breite der äußeren Begrenzungslinie (Nacht)	$10 \times D$

C.4.3 Anforderungen an die Hindernisbegrenzungsflächen

- Ein Vertiport muss mindestens zwei An- und Abflugflächen haben, um schlechte Windverhältnisse wie Seitenwinde zu vermeiden und eine ungehinderte Landung zu ermöglichen.
- Neue Objekte oder Erweiterungen bestehender Objekte sind oberhalb der An- und Abflugfläche nicht zulässig, es sei denn, sie sind durch ein vorhandenes unbewegliches Objekt abgeschirmt oder eine von einer zuständigen Behörde genehmigte luftfahrttechnische Untersuchung hat ergeben, dass das Objekt die Sicherheit des Betriebs von eVTOLs nicht nachteilig beeinflussen wird.
- Vorhandene Objekte über der An- und Abflugfläche sollten, soweit möglich, entfernt werden, es sei denn, der Gegenstand ist durch einen vorhandenen unbeweglichen Gegenstand abgeschirmt oder eine von einer zuständigen Behörde genehmigte luftfahrttechnische Untersuchung hat ergeben, dass der Gegenstand die Sicherheit des Betriebs von eVTOLs nicht nachteilig beeinflussen wird.

C.5 Visuelle Hilfen

Hinweis: Die Aussagen in diesem Kapitel werden unter der Annahme gemacht, dass die Regeln für Vertiports aus den Regeln für Heliports abgeleitet werden können. Die hier angegebenen Regeln sind daher nur eine Abschätzung der Regeln, die wahrscheinlich für Vertiports gelten.

C.5.1 Indikatoren

- Ein Vertiport sollte mit mindestens einem Windrichtungsindikator (Windsack) ausgestattet sein.
- Ein Windrichtungsindikator muss so angebracht sein, dass er die Windverhältnisse über der FATO und der TLOF anzeigt und nicht von Störungen im Luftstrom beeinflusst wird. Der Windrichtungsindikator muss von einem eVTOL aus im Flug, während des Schwebens und im Bewegungsbereich sichtbar sein.

- Ein Windrichtungsindikator ist so zu konstruieren, dass er eine klare Anzeige der Windrichtung und eine allgemeine Anzeige der Windgeschwindigkeit liefert.
- Ein Windrichtungsindikator an einem Vertiport, der für den Einsatz bei Nacht vorgesehen ist, muss beleuchtet sein.

C.5.2 Markierungen und Kennzeichnungen

C.5.2.1 Kennzeichnung des Vertiports

- Die Kennzeichnung des Vertiports muss sich nahe oder in der Mitte der FATO befinden.
- Bei einer FATO, die eine TLOF enthält, muss die Kennzeichnung mit der Mitte der TLOF übereinstimmen.
- Die Kennzeichnung des Vertiports besteht aus dem Buchstaben V in weißer Farbe. Die Abmessungen der V-Kennzeichnung dürfen nicht kleiner sein als in Abbildung 30 angegeben (angepasst an die H-Kennzeichnung für Hubschrauberlandeplätze).
- Die Kennzeichnung des Vertiports muss so angeordnet sein, dass sie aus der bevorzugten Endanflugrichtung lesbar ist.

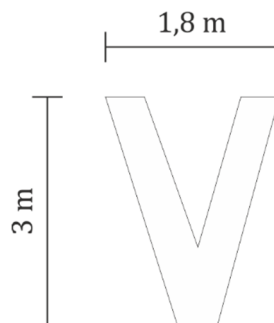


Abbildung 30: Kennzeichnung des Vertiports

C.5.2.2 Höchstmassenmarkierung

- Die Markierung der maximal zulässigen Masse sollte innerhalb der TLOF oder FATO angeordnet sein und so ausgerichtet sein, dass sie aus der bevorzugten Endanflugrichtung lesbar ist.
- Die Markierung besteht aus einer ein-, zwei- oder dreistelligen Zahl.
- Die höchstzulässige Masse ist in Tonnen anzugeben, abgerundet auf die nächsten 100 kg. Die Kennzeichnung ist mit einer Dezimalstelle darzustellen, gefolgt von dem Buchstaben t. Der Dezimalstelle sollte ein Dezimalpunkt vorangestellt werden, der aus einem 30 cm großen Quadrat besteht.

- Die Zahlen und der Buchstabe der Markierung sollten eine Farbe haben, die im Kontrast zum Hintergrund steht.
- Bei einer FATO mit einer Abmessung zwischen 15 m und 30 m sollte die Höhe der Zahlen und des Buchstabens mindestens 90 cm betragen. Bei einer FATO mit einer Abmessung von weniger als 15 m sollte die Höhe der Zahlen und der Buchstabe mindestens 60 cm betragen, jeweils mit einer proportionalen Reduzierung der Breite und Dicke.

C.5.2.3 FATO Markierung

- Die Maßangaben der FATO müssen innerhalb der FATO liegen und so angeordnet sein, dass sie aus der Hauptanflugrichtung lesbar sind.
- Die Maßangaben sind auf den nächsten Meter oder Fuß zu runden.
- Für eine FATO mit einem Durchmesser zwischen 15 m und 30 m muss die Höhe der Zahlen und Buchstaben mindestens 90 cm betragen, und für eine FATO mit einem Durchmesser von weniger als 15 m muss die Höhe der Zahlen und Buchstaben mindestens 60 cm betragen, jeweils mit proportionaler Reduzierung der Breite und Dicke.
- Die Umrandungsmarkierungen der FATO sind vorzusehen, wenn die Ausmaße der FATO nicht offensichtlich ist.
- Die Umrandungsmarkierung der FATO soll sich am Rand der FATO befinden.
- Für eine unbefestigte FATO sollte die Umrandungsmarkierung durch Markierungen im Boden erfolgen. Die Segmente der Umrandungsmarkierung der FATO sollten 30 cm breit sowie 1,5 m lang sein und von einem Ende zum anderen nicht weniger als 1,5 m und nicht mehr als 2 m bemessen.
- Für eine befestigte FATO sollte die Umrandungsmarkierung aus einer gestrichelten Linie bestehen. Die Segmente der Umrandungsmarkierung der FATO sollten 30 cm breit sowie 1,5 m lang sein und von einem Ende zum anderen nicht weniger als 1,5 m und nicht mehr als 2 m bemessen.
- Die Ecken einer quadratischen oder rechteckigen FATO sind festzulegen und zu markieren.
- Die Umrandungsmarkierung der FATO muss weiß sein.

C.5.2.4 Zielpunktmarkierung

- Eine Zielpunktmarkierung sollte an einem Vertiport vorgesehen werden, wenn es für einen Piloten notwendig ist, erst einen bestimmten Punkt über der FATO anzufliegen bevor er zu einer TLOF weiterfliegt.
- Die Zielpunktmarkierung ist in der Mitte der FATO anzubringen.

- Die Zielpunktmarkierung muss ein gleichseitiges Dreieck sein, dessen Winkelhalbierende nach der bevorzugten Anflugrichtung ausgerichtet ist. Die Markierung muss aus durchgehenden weißen Linien bestehen und die Abmessungen müssen denen in Abbildung 31 entsprechen.

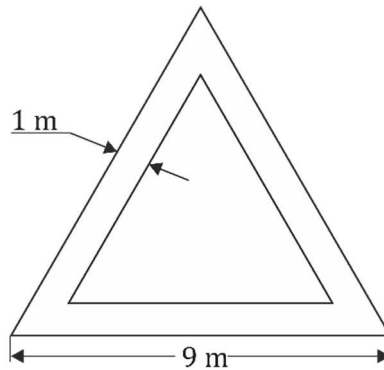


Abbildung 31: Zielpunktmarkierung

C.5.2.5 TLOF Markierung

- Eine Umrandungsmarkierung der TLOF ist auf jedem Standplatz anzubringen, der gleichzeitig eine TLOF ist.
- Die Umrandungsmarkierung muss sich entlang des Randes der TLOF befinden.
- Die Umrandungsmarkierung muss aus einer durchgehend weißen Linie mit einer Mindestbreite von 30 cm bestehen.

C.5.2.6 Aufsetzmarkierung

- Eine Aufsetzmarkierung ist vorzusehen, wenn es erforderlich ist, dass ein eVTOL aufsetzen und/oder vom Luftfahrzeugführer genau positioniert werden muss.
- Eine Aufsetzmarkierung ist an einem für das Drehen ausgelegten Standplätzen vorzusehen.
- Eine Aufsetzmarkierung ist so anzuordnen, dass sich das gesamte Fahrwerk innerhalb der TLOF befindet und alle Teile des eVTOLs mit einem sicheren Abstand von jedem Hindernis entfernt sind, wenn sich der Sitz des Pilots über der Markierung befindet.
- Bei einem Standplatz, der für das Drehen im Schwebeflug ausgelegt ist, ist die Aufsetzmarkierung in der Mitte der zentralen Zone anzubringen.
- Eine Aufsetzmarkierung sollte ein gelber Kreis sein und eine Linienstärke von mindestens 0.5 m haben.
- Der Innendurchmesser der Aufsetzmarkierung muss $0.5 \times D$ betragen.

C.5.2.7 Roll- und Schwebeflugwegmarkierungen und Marker

- Die Mittellinien von Rollwegen oder Schwebeflugwegen sind mit einer Markierung zu kennzeichnen. Die Ränder sind, wenn nicht offensichtlich, ebenfalls mit Markierungen und Markern zu versehen.
- Die Mittellinienmarkierung muss eine durchgehende gelbe Linie mit einer Breite von 15 cm sein.
- Die Kantenmarkierungen müssen durch eine durchgehende, doppelte gelbe Linie von je 15 cm Breite mit einem Abstand von 15 cm dargestellt werden.
- Die Schwebeflugwegmarker müssen in einem Abstand von 1 m bis 3 m über den Rand der Schwebeflugwege hinaus angebracht sein.
- Die Schwebeflugwegmarker müssen auf jeder Seite bei geraden Abschnitten mindestens alle 15 m angebracht werden, bei gekrümmten Abschnitten mindestens alle 7,5 m. In jedem Abschnitt müssen mindestens vier Schwebeflugwegmarker stehen, die jeweils den gleichen Abstand zueinander haben.
- Die Schwebeflugwegmarker müssen zerbrechlich sein.
- Die Schwebeflugwegmarker dürfen eine Ebene nicht überschreiten, die in einer Höhe von 25 cm über der Rollbahn und in 1 m Entfernung zum Rand der Rollbahn beginnt und mit 5% Neigung nach außen und oben bis zu einer Entfernung von 3 m zum Rand der Rollbahn verläuft.
- Die Schwebeflugwegmarker müssen blau sein.
- Wenn der Schwebeflugweg nachts genutzt werden soll, müssen Schwebeflugwegmarker selbstleuchtend und reflektierend sein.

C.5.2.8 Standplatzmarkierung

- Auf einem zum Drehen vorgesehenen Standplatz ist eine Umrandungsmarkierung anzubringen. Ist dies nicht möglich, so ist stattdessen eine Markierung der zentralen Zone vorzunehmen, wenn diese nicht offensichtlich ist.
- Eine Umrandungsmarkierung eines Standplatzes, der zum Drehen bestimmt ist, oder eine Umrandungsmarkierung der zentralen Zone muss konzentrisch auf der zentralen Zone liegen.
- Die Umrandungsmarkierung eines Standplatzes hat durch einen gelben Kreis mit einer Linienbreite von 15 cm zu erfolgen.
- Die Umrandungsmarkierung der zentralen Zone muss ein gelber Kreis mit einer Linienbreite von 15 cm sein, es sei denn, der Standplatz ist mit einer TLOF angeordnet. Dann gelten die Anforderungen an Markierungen für eine TLOF.

- Trassierungslinien sowie Ein- und Ausfahrlinien sind auf einem Standplatz vorzusehen. Diese Linien müssen durchgehend gelb sein und eine Breite von 15 cm aufweisen.
- Für einen Standplatz, der für Durchfahrten bestimmt ist und auf dem das Wenden nicht erlaubt ist, ist eine Haltelinie in der Farbe Gelb vorzusehen, die im rechten Winkel zur Rollbahnachse liegt.
- Für einen Standplatz, der für Durchfahrten vorgesehen ist und auf dem das Wenden nicht erlaubt ist, darf die Haltelinie nicht kürzer sein als die Breite des Rollweges. Die gelbe Haltelinie muss eine Linienstärke von 50 cm aufweisen.
- Gebogene Abschnitte von Trassierungslinien und Ein- und Ausfahrlinien müssen Radien aufweisen, die dem kritischsten eVTOL-Typ entsprechen, der für diesen Standplatz vorgesehen ist.
- Standplatzkennzeichnungen können angebracht werden, sofern die Kennzeichnung einzelner Standplätze erforderlich ist.
- Die Standplatzkennzeichnungen müssen in einer kontrastierenden Farbe abgebildet sein, sodass sie leicht lesbar sind.

C.5.3 Befeuerung

Die Einführung eines Beleuchtungssystems an einem Vertiport ist stark abhängig von dem spezifischen Standort und der Art des Betriebs, der an diesem Vertiport durchgeführt wird. Bei einem ausschließlichen Betrieb während guter Sichtbedingungen und Tageslicht kann auf eine Beleuchtungsanlage verzichtet werden (Dies spiegelt sich in der Regelung für Hubschrauberlandeplätze wieder, gemäß derer ein Hubschrauberlandeplatz keine Beleuchtungsanlage benötigen kann). Aus Gründen der Vollständigkeit werden in diesem Kapitel einige Beleuchtungssysteme aufgeführt und beschrieben, die an einem Vertiport eingesetzt werden können, um den Betrieb bei Nacht oder schlechten Sichtverhältnissen zu ermöglichen.

Vertiport Leuchtfeuer (Vertiport Beacon): Eine Befeuerung, die den Vertiport aus großer Entfernung oder bei starker Umgebungsbeleuchtung kennzeichnet.

Anflugbefeuerung (Approach Lighting System): Ein Befeuerungssystem, das eine bevorzugte Anflugrichtung anzeigt.

Flugbahnbeleuchtung (Flight Path Alignment Lighting System): Ein Befeuerungssystem, das alle verfügbaren An- und Abflugrichtungen anzeigt.

Visuelle Spurbefeuerung und visueller Neigungsindikator (Visual Alignment Lighting System and Visual Slope Indicator): Ein Befeuerungssystem, das speziell für den Nachtbetrieb konzipiert ist. Hierbei muss aufgrund von Hindernisfreiheiten, Lärminderung oder des Fehlens von visuellen Hilfen ein spezifischer Anflugweg genutzt werden.

Zielpunktbeleuchtung (Aiming Point Lights): Befeuerung, die einen Zielpunkt beleuchtet, insbesondere notwendig, wenn an einem Vertiport ein Nachtbetrieb mit Zielpunktbeleuchtung erfolgen soll.

TLOF-Befeuerung (Touchdown and Lift-off Area Lighting System): Für Vertiports, die für den Einsatz im Nachtbetrieb vorgesehen sind, ist ein TLOF-Befeuerungssystem vorzusehen, das aus Begrenzungsleuchten, Scheinwerfern und einer Anordnung von Punktquellenbeleuchtung (Arrays of Segmented Point Source Lighting: ASPSL) oder einer Leuchtplatte (Luminescent Panel: LP) besteht.

Rollwegbeleuchtung (Taxiway Lights): Ein Befeuerungssystem, das die Rollwege und Schwebeflugwege beleuchtet.

C.6 Rettungsmaßnahmen am Vertiport

Hinweis: Die Aussagen in diesem Kapitel werden unter der Annahme gemacht, dass die Regeln für Vertiports aus den Regeln für Heliports abgeleitet werden können. Die hier angegebenen Regeln sind daher nur eine Abschätzung der Regeln, die wahrscheinlich für Vertiports gelten.

C.6.1 Notfallplan am Vertiport

Der Notfallplan an einem Vertiport hat den Zweck, auf einen Notfall an einem Vertiport oder in der unmittelbaren Umgebung vorbereitet zu sein und diesen bewältigen zu können. Beispiele für solche Notfälle sind Unfälle auf oder vor dem Vertiport, medizinische Notfälle, Vorfälle mit Gefahrgut, Brände und Naturkatastrophen. Das Ziel dieser Notfallplanung ist es, die Auswirkungen eines Notfalls zu minimieren, indem Leben gerettet und der eVTOL-Betrieb aufrechterhalten wird. Der Notfallplan für Vertiports legt die Vorgehensweise bei den verschiedenen Vorfällen fest, unter anderem die Reaktion der verschiedenen Services am Vertiport (Flugsicherung, Feuerwehr, Rettungsdienste und Sicherheitsdienste) sowie die Reaktion der Behörden in der Umgebung (Feuerwehr, Polizei, Krankenhäuser, Militär oder Küstenwache).

- Es ist ein Notfallplan für den Vertiport zu erstellen, der dem eVTOL-Betrieb und sonstige Betriebsabläufen am Vertiport entspricht.
- Der Plan benennt Einrichtungen, die bei einem Notfall am Vertiport oder in seiner Nähe behilflich sein könnten.
- Der Notfallplan soll die Koordinierung der Maßnahmen vorsehen, die im Falle eines Notfalls ergriffen werden müssen.
- Der Notfallplan muss mindestens folgende Informationen enthalten:
 - Die Art der durch den Plan abgedeckten Notfälle;

- Das Vorgehen zur Einleitung des Plans für jeden angegebenen Notfall;
 - Die Namen der Behörden, die in den verschiedenen Notfällen kontaktiert werden müssen, inkl. der Kontaktinformationen;
 - Die Rolle jeder Behörde in den verschiedenen Notfällen;
 - Eine Liste der relevanten Dienste, die an dem Vertiport zur Verfügung stehen, inkl. der Kontaktinformationen;
 - Kopien aller schriftlichen Vereinbarungen mit anderen Einrichtungen über gegenseitige Hilfe und die Bereitstellung der Rettungsdienste;
 - Eine Rasterkarte des Vertiports und seiner unmittelbaren Umgebung.
- Alle im Plan genannten Einrichtungen sollten über ihre Rolle im Notfallplan informiert werden.
 - Der Plan sollte mindestens einmal jährlich oder, wenn erforderlich, nach einem tatsächlichen Notfall überprüft werden, um alle bei einem Notfall festgestellten Mängel zu beheben.
 - Ein Test des Notfallplans sollte mindestens einmal alle drei Jahre durchgeführt werden.

C.6.2 Rettungsmaßnahmen und Feuerbekämpfung

Das Hauptziel eines Rettungs- und Feuerwehrdienstes ist es, Leben zu retten. Aus diesem Grund ist die Bereitstellung von Mitteln zur Bewältigung eines eVTOL-Vorfalles oder eines Unfalls in unmittelbarer Nähe besonders wichtig. Dabei muss jederzeit sichergestellt sein, dass ein Brand, der nach einem Vorfall oder Unfall oder während der Rettungsarbeiten entsteht, unmittelbar gelöscht werden kann. Die wichtigsten Faktoren für eine effektive Rettung bei einem eVTOL-Unfall sind das vorbereitende Training der Rettungskräfte, die Funktionsfähigkeit der Ausrüstung sowie die Verzögerung, mit der Personal und Ausrüstung eingesetzt werden können.

Die in diesem Kapitel enthaltenden Anforderungen basieren auf der kleinsten Brandschutzkategorie für Hubschrauber (H1). Es ist zu beachten, dass im Zuge der Weiterentwicklung des Vertiport-Konzepts erwartet wird, dass eine spezifische Regelung für Rettungs- und Feuerbekämpfungsmaßnahmen an Vertiports eingeführt wird.

- Das Hauptlöschmittel sollte Schaum sein.
- Für die Schaumerzeugung am Vertiport müssen mindestens 2500 L Wasser zur Verfügung stehen.
- Die Durchflussmenge der Schaumlösung muss mindestens 250 L/min betragen.
- Es müssen mindestens 45 kg trockene chemische Pulver oder 45 kg Halone oder 90 kg CO_2 für die Schaumproduktion an einem Vertiport vorhanden sein.

- Die Ausstoßrate von Komplementärmitteln sollte so gewählt werden, dass die optimale Wirksamkeit des verwendeten Mittels gewährleistet ist.
- Es sollte mindestens eine Löschmittelleitung vorhanden sein, die in der Lage ist, Schaum mit einer Ausstoßrate von 250 L/min zu befördern.
- Die Rettungsausrüstung sollte in der Nähe des Vertiports gelagert werden.
- Ein Rettungs- und Feuerlöschdienst sollte während eVTOL-Bewegungen sofort am Vertiport oder in der Nähe des Vertiports zur Verfügung stehen.
- Im Falle eines Brandes muss es mindestens einen weiteren Fluchtweg geben, der in gegenüberliegender Richtung zum Hauptein- und Ausgang des Vertiports liegt.

D Vertiport Dimensionierung

D.1 Parkhaus P2



Abbildung 32: P2 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1



Abbildung 33: P2 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2

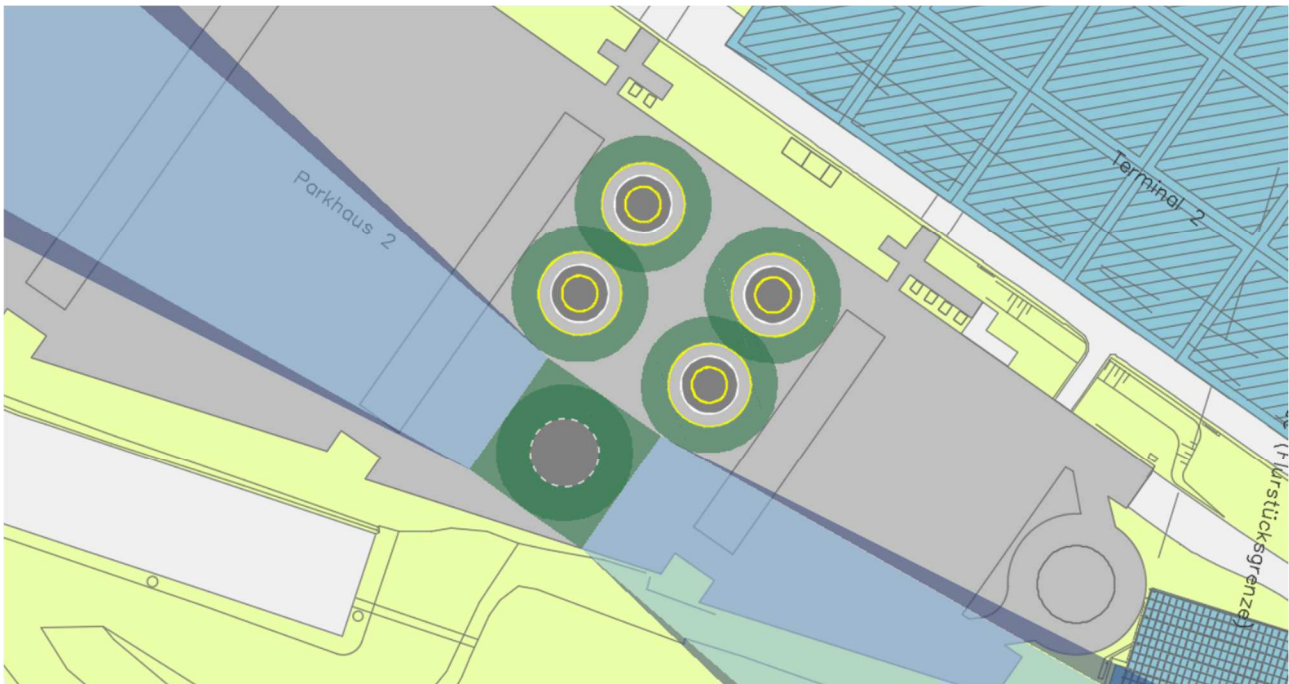


Abbildung 34: P2 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1

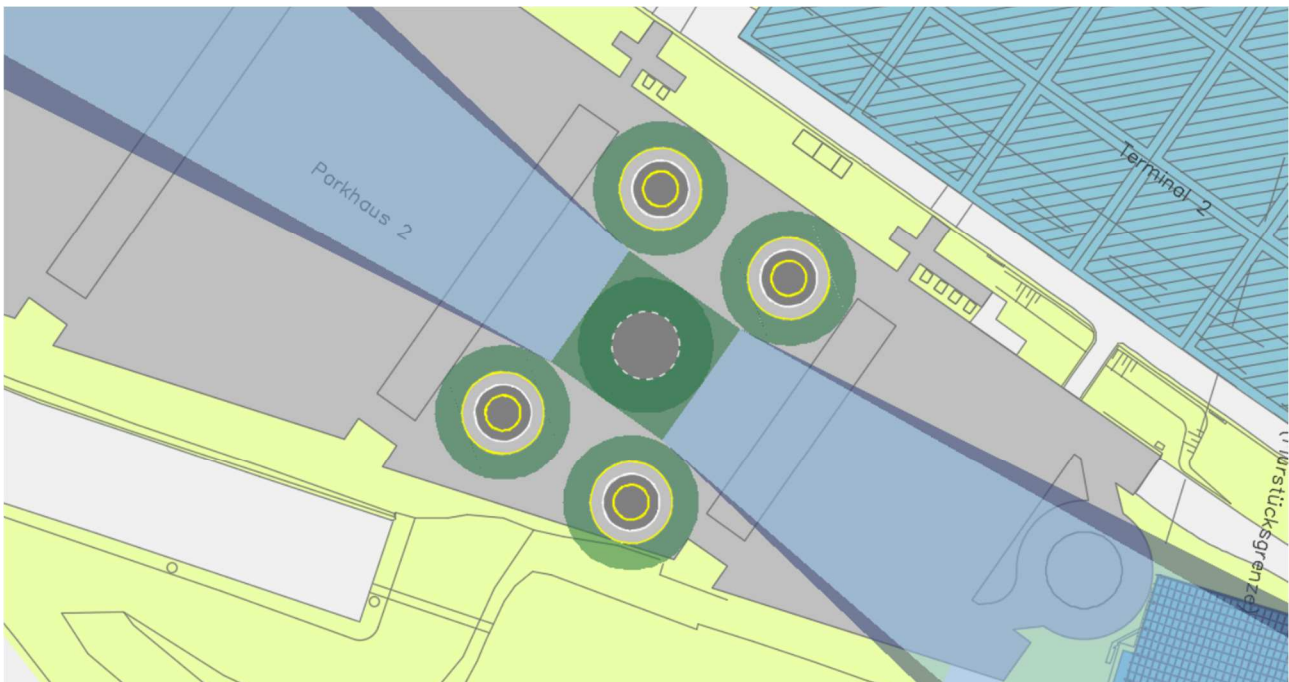


Abbildung 35: P2 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2

Tabelle 11: Hindernisanalyse für Parkhaus P2 Abschnitt 2 (alle Angaben in Metern)

Infrastruktur	Höhe	Höhe Δ	Slope A	Min	Max
Entlüftungsturm	94,2	21,6	480,0	260,5	331,9
Hotel	84,2	11,6	257,8	95,0	222,9
P2 Abtrenner	77,9	5,3	117,8	0,0	42,7
P2 Treppenhäuser	78,1	5,5	122,2	4,9	108,7
P3	83,9	11,3	251,1	435,6	562,8
P3 Abtrenner	88,4	15,8	351,1	520,4	602,4
P3 Treppenhaus	88,7	16,1	357,8	497,1	532,4
Terminal 1 Kanzel	104,4	31,8	706,7	349,8	425,0
Terminal 1 Nord	87,5	14,9	331,1	192,1	293,5
Terminal 1 Süd	87,5	14,9	331,1	264,3	360,0
Terminal 2	83,8	11,2	248,9	22,2	123,3

D.2 Parkhaus P3



Abbildung 36: P3 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1



Abbildung 37: P3 Vertiport für 12 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2



Abbildung 38: P2 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 1



Abbildung 39: P3 Vertiport für 15 Meter größte Gesamtabmessung eVTOL, Konfiguration 2

Tabelle 12: Hindernisanalyse für Parkhaus P3 Abschnitt 1 (alle Angaben in Metern)

Infrastruktur	Höhe	Höhe Δ	Slope A	Min	Max
Entlüftungsturm	94,2	11,3	251,1	768,1	839,6
Hotel	84,2	1,3	28,9	491,3	570,6
P3 Abtrenner	88,4	5,5	122,2	10,5	75,1
P3 Treppenhaus	88,7	5,8	128,9	4,0	116,6
Terminal 1 Kanzel	104,4	21,5	477,8	849,0	932,0
Terminal 1 Nord	87,5	4,6	102,2	703,1	786,6
Terminal 1 Süd	87,5	4,6	102,2	765,4	835,4
Terminal 2	83,8	0,9	20,0	417,4	516,4